وزارة الري

المجلة العلمية للموارد المائية

الزلازل وتأثيرها في السدود الركامية



نصرة نجيب أدمو

عدد خاص رقم (١)

1985

JOURNAL OF WATER RESOURCES

الـــــــزلازل
وتأثيـــراتها في الســـدود الركاميـــــة
EARTHQUAKES AND THEIR EFFECT ON EMBANKMENT DAMS

تأليـــف

By:

Nasrat N. Adamo, MSc.	نصرة نجيب ادمــو
Chief Engineer	رئيس مهندسين
State Organization for Dams	المؤسسة العامة للسدود
Ministry of Irrigation	وزارة الـــــري

مراجعـــــــة

Revised by:

Khalid J. Fahmi, Ph.D.	الدكتور خالد جهاد فهمي
Head, Seismology Unit	رئيس وحدة الرصد الزلزالي
Building Research Center	مركز بحوث البنـــــاء
Scientific Research Council	مجلس البحث العلمي

كلمة سكرتارية هيئة التحرير

على الرغم من أن السجل الانساني قد زخر بانجازات العرب في حقل الموارد المائية وسجل لهم أعمالهم ودراساتهم المعروفة خلال عصور التاريخ المختلفة ، نجد أن المكتبة العربية الحديثة لا زالت تفتقر نسبيا الى المؤلفات التي توازي ما جرى وما يجري من مشاريع وأبحاث في هذا المجال في وطننا العربي . ومن هذا المنطلق دأبت اللجنة الوطنية العراقية للبرنامج الهيدرولوجي الدولي العمل على تسليط الضوء على جزء من البحوث والمشاريع الجارية في وطننا العربي .

عددنا الخاص هذا يمثل أحد المؤلفات المتواضعة التي ترغب اللجنة في وضعها بمتناول القارئ للاستفادة منها ، وهنا تجدر الاشارة الى الدعم المتواصل والتشجيع المستمر الذي تلقاه من الاستاذ عبد الوهاب محمود وزير الري ورئيس اللجنة الوطنية العراقية للبرنامج الهيدرولوجي الدولي في انجاز مثل هذه المطبوعات .

بهذه المناسبة ، ندعو كافة الباحثين والعاملين في مجال الموارد المائية لتزويدنا بما لديهم من نتاج علمي لوضعه في متناول القراء للاستفادة منه . وفق الله الجميع .

د . نضير الانصاري

الاهداء

Presentation

أهدى هذا العمل المتواضع لسيادة وزير الري الاستاذ عبد الوهاب محمود عبد الله لاتاحة الفرصة النادرة لي بمتابعة اخر التطورات العلمية في تصاميم السدود العالية من خلال عملي مع مجالس الخبراء العالميين ، حيث قمنا ولا زلنا نقوم بدراسات وتصاميم وتدقيق تنفيذ العديد من السدود المهمة في قطرنا العزيز ، اضافة الى ماهو معروف عن سيادته من تشجيع وتكريم للباحثين • مما جعل من وزارة الري قدوة تحتذى في ذلك ، وفي التمسك بتوجيهات القيادة السياسية في هذا المضمار وصولا الى بناء العراق القادر العزيز والمزدهر •

CONTENTS المحتويـــــات

الصفحـــة

Figures — الاشكـــــال

تتمة قائمة الاشكـــال :

Tables الجـــداول

INTRODUCTION تمهيد

تميزت الخمسون سنة الاخيرة بنشاط كبير لبناء السدود في كافة بقاع الارض • وكان ذلك منبعثا من الحاجة الى تطوير وصيانة مصادر المياه وترويض الانهار بقصد القضاء على مخاطر الفيضانات المدمرة من جهة وتأمين متطلبات الزراعة من مياه الري لتوفير الغذاء للاعداد المتزايدة من السكان من الجهة الاخرى • ناهيك عن توفير احتياجات الصناعة المتعاظم للطاقة الكهربائية وحاجة فروع الاقتصاد الاخرى لهذه الطاقة المحركة • وكما هو معلوم فأن السدود الكونكريتية يتطلب انشاؤها أسسا غاية في المتانة وقوة التحمل • لذا وباستنفاذ المواقع ذات الصفات هذه كان لابد من التوجه المتزايد نحو انشاء السدود الركامية • ومعلوم ايضا بأنه يمكن لهذه الاخيرة أن تبنى في مواقع أضعف وأقل تحملا •

ان هذا الاتجاه قد وضع على المهندسين والمصممين مسؤولية كبيرة لتطوير فروع هندسية جديدة • فكان التطور الواسع في فروع ميكانيك التربة وميكانيك الصخور والجيولوجيا والسيزمولوجيا وغيرها من فروع الهندسة الجيوتكنيكية • وبازدياد الحاجة الى سدود أعلى وخزانات أكبر زاد التحدى وزاد التطور •

ان مايهمنا في موضوع هذا البحث هو تأثير الزلازل على تصاميم السدود الركامية وتطور الدراسات والبحوث في هذا الحقل • فلقد شهدت دراسات الزلازل (علم السيزمولوجيا) بصورة عامة وتأثيراتها على المنشات بصورة خاصة جهدا علميا وتطبيقيا مكثفا من خلال البحوث في مراكز الابحاث والجامعات والمؤتمرات والندوات العلمية والمهنية العالمية • لذا يمكن القول بتوفر خبرة واسعة جدا في هذا الباب ويتركز جزءا كبيرا من هذه الخبرة في مجال تصاميم وانشاء السدود الركامية •

ان النقص الواضح في المكتبة العربية فيما يتعلق بالكتابات الهندسية بوجه عام وما يخص هذا الموضوع بالذات قد قادني الى التفكير في امكانية المساهمة بجهد متواضع لتقديم بعض ما متوفر من هذه المعلومات وباللغة العربية •

مما تقدم يمكنني القول بأن الهدف من هذا البحث ذو شقين : أولهما جمع المعلومات الرئيسية في اتجاه يخدم مهندسي ومصممي السدود ، وكذلك الدارسين في هذا المجال • أما ثانيهما فهو محاولة تعريب العديد من المصطلحات الهندسية الخاصة بهذا الحقل •

لقد كان لزاما علي لتنفيذ الشق الاول من تحقيق العديد من البحوث ومقارنتها بعضها مع البعض الاخر وابداء الرأى بمدى الدقة أو الملائمة وعلى ضوء التجربة العملية • وفي هذا كثيرا ماوجدت تناقض في بعض الاستنتاجات أو الاجتهادات فكان لابد من عملية الغربلة واستخلاص المفيد وطرح الباقي جانبا • كما عملت أن تكون المعلومات والبيانات عامة متجنبا ذكر الخصوصيات بالنسبة للسدود العراقية مع مالهذه الخصوصيات من أهمية بالغة احيانا مكتفيا بما منشور فعلا من خلال المؤتمرات والندوات العلمية العالمية •

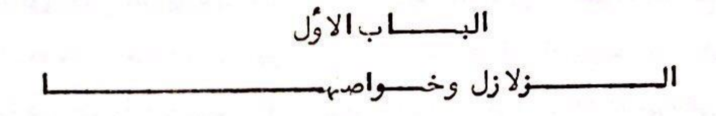
اما لتحقيق الشق الثاني وهو التعريب فقد واجهتني في ذلك صعوبات كبيرة . وقد حاولت أن أنتهج ترجمة المعنى وليس النص الحرفي . وتفاديا للالتباس فقد وضعت النص الانكليزي تجاه المصطلحات المعربة مع جمع هذه المصطلحات بحسب الحروف الهجائية في جدول ملحق لسهولة الرجوع اليها اذا مادعت الحاجة . وقد أكون قد وفقت لتحقيق هذا المطلب بعض الشيء أو قد أكون فشلت . وأترك للقارىء الكريم أن يسامحني حيثما لم يتفق معي والله من وراء القصد .

وبعد ، فأن البحث مقسم الى ثلاثة أبواب . يبحث (الأول) في خواص الزلازل وطرق قياسها وحساباتها ويركز على موضوع التأثيرات الحركية السطحية للهزات ، حيث ان الدمار أو التخريب المحتملين في السدود أو المنحدرات الطبيعية مبعثهما هذه التأثيرات . أما (الباب الثاني) فقد احتوى على جمع وتحليل حالات فشل عديدة للسدود بنتيجة هزات أرضية . وفي هذا حاولت أن يكون التحليل باتجاه استخلاص قواعد تفيد المهندس المنفذ والمهندس المصمم للحصول على سدود ذات مقاومة أكبر لتأثيرات الزلازل المدمرة . ويركز هذا الباب ايضا على موضوع تطبيقي الا وهو (الخطورة الزلزالية) . ولي في ذلك رأى واضح نظرا لأهمية هذا الموضوع الكبيرة في فلسفة تصاميم السدود ولأهميته في جوانب تطبيقية اخرى كالتأمين الهندسي .

وقد أنصب البحث في (الباب الثالث) على تتبع التطور في أساليب التفكير والتحليل الهندسيين في ملاقاة تأثيرات الزلازل وكيفية ادخال متغيراتها ضمن حسابات درجة امان وسلامة السدود .

وهنا لابد لي من ذكر شيء مهم وهو بأني قد أغفلت وعن عمد وسابق قصد جوانب اخرى من العلاقة بين (الزلازل والسدود) وكان هدفي عدم جعل البحث جامد المادة وكثير التعقيد . وعلى أمل العودة ربما مستقبلا للتطرق الى هذه الجوانب في بحوث اخرى وربما أيضا من قبل باحثين اخرين أكثر مني تضلعا فيها . ومن هذه الجوانب ، تأثيرات الخزانات الكبيرة في احداث الزلازل ، طرق قياس وتسجيل الزلازل ومتغيراتها في السدود ، اضافة الى دراسات نمذجة الزلازل المسجلة فعلا لاغراض تصاميم السدود ، وبرامج الحاسبة الالكترونية المستخدمة في التحليل .

ختاما ، أملي كبير أن يكون في هذا البحث بعض من الفائدة المرجوة لاخواني المهندسين والباحثين والله ولي التوفيق .



PART ONE

EARTHQUAKE CHARACTERISTICS

١٠١ نبذة تأريخية (Historical Overview)

ارتبطت بأذهان الناس ومنذ القدم مسببات الزلازل مع فكرة وجود اجهادات داخلية في باطن الارض • ونرى ذلك واضحا في نظرية أرسطو عن الزلازل ، غير أن القرون الوسطى شهدت تبدلا في هذا التفكير ، حيث وضع اللاهوتيون حدا للافتراضات والتكهنات وتم اعتناق نظرية (غضب الله) كسبب للكوارث الطبيعية ومنها الزلازل • وكانت لهذه النظرية جذورها في التوراة • فقد يكون خراب (سادوم و عامورة) وسقوط (جرش) من الامثلة الاولى للفعالية الزلزالية (Seismic Activity) في وادي الاردن • وهكذا نرى بأن تفسير مسببات الزلازل المستند على الطبيعة قد تم تحريمه من قبل الكنيسة خلال القرن الخامس الميلادي واعتبر ذلك شكلا من أشكال الهرطقة • غير أن الصينيين خلال الفترة نفسها كانوا قد طوروا أنظمة معقدة لرصد الزلازل في انحاء الامبراطورية • وقد كان سبب هذا الاهتمام الرسمي بموضوع الزلازل هو الاعتقاد بأن الزلازل تؤشر تغييرات وشيكة الوقوع في جهاز الدولة • فقد اخترع جان هينغ (٦٨ م ـ ١٣٩ م) الفلكي في بلاط الخان أول جهاز لتسجيل الهزات الارضية (Seismograph) مستندا على فكرة عمل البندول • هذا وقد أظهرت الاكتشافات الاثارية مؤخرا في بعض عواصم الاقاليم عن وجود سجلات لهذه الهزات بما يعتبر تاريخ زلزالي حافل للصين لمدة (٢٠٠٠) سنة • كما تم اكتشاف سجلات مماثلة في اليابان يرجع عهدها الى سنة (٥٩٩ م) • أما في الاماكن الاخرى من العالم فلم يحض تسجيل الزلازل بمثل هذا الاهتمام • فعلى الرغم من أن النظرية الخاصة بباطن الارض أخذت تجتذب اهتمام أفضل العلماء في زمنهم أمثال لابلاس (Laplace) ، وبواسون (Poisson) ولاميه (Lame) وريلي (Rayleigh) واخرين ، الا أن علم الزلازل المبني على الملاحظة والتسجيل لم يبدأ الا في بداية القرن الحالي ، حيث تم صنع عدد من أجهزة رصد الهزات (Seismometer) البسيطة • ويوجد الان ما لا يقل عن (١٠٠٠) محطة رصد زلزالية منتشرة فى أنحاء العالم باستطاعتها تسجيل وتحديد وفهرسة الهزات الارضية التي يزيد مقدارها عن (٥ر٤) درجات •

١٠٢ الزلازل : أسبابها وتأثيراتها : (Earthquake Occurrence: Causes and Effects)

يرى التفسير الحديث للزلازل بأن مكونات باطن الارض أبعد ما تكون عن الاستقرار وان هناك وفي هذه المكونات حركة مستمرة • وينجم عن هذه الحركة تسليط ضغوط وقوى شديدة على طبقات الصخور التي تقع ضمن مجالها • وعندما تصل هذه القوى حدا ليس بامكان الصخور تحمله ، فعندئذ تبدأ بالتشقق ويتم تحرير الطاقة بصورة مفاجئة وسريعة ويكون جزء من الطاقة المتحررة بشكل موجات تسبب اهتزاز الارض • كما أن من اثارها أيضا حصول الفوالق الارضية • ومن هذه الفوالق مايكون صغيرا لا يتجاوز طوله عدة أمتار ومنها ما يكون كبيرا جدا يصل طوله الى مئات الكيلو مترات وتعتبر هذه الفوالق الشواهد التاريخية على وقوع الهزات الارضية خلال الحقب الجيولوجية المختلفة من عمر الارض •

ان التدمير والتخريب الذى ينتج عن الهزات الارضية انما يحصل من الموجات المتولدة والتي أشرنا اليها • وتعتمد نسبة التدمير على طاقة الموجات الزلزالية ومن المعروف عن الزلازل بأن ليس لحدوثها أماكن معينة وثابتة ، بل أنها يمكن أن تحدث في أى بقعة من بقاع الكرة الارضية • وان كثرة وقوعها في مناطق معينة انما بسبب وقوع هذه المناطق ضمن مناطق اجهادات معروفة في القشرة الارضية • كما أن ليس لحدوث الزلازل أوقات معينة أو تكرارات ثابتة وان كانت هناك محاولات احصائية كثيرة للتنبوء بوقوع هذه الزلازل • غير أن هذه المحاولات تبقى غير مجدية طالما ان هناك ولا يزال المزيد من المعلومات الواجب معرفتها عن طبيعة الزلازل •

١٠٣ مقاييس الزلازل (Earthquake Scales)

يعرف أى زلزال عادة بموقع حدوثه (خط العرض ، خط الطول ، العمق) ، وكذلك زمن وقوعه والطاقة المتحررة عنه ، وحيث أن من الصعب جدا قياس كمية الطاقة هذه فقد تم اعتماد عدد من المقاييس لقياس حجم الزلازل • ولا بد من القول بأن أى من هذه المقاييس لا يعطي وصفا كاملا وشاملا لجميع خواص الزلازل • فهناك المقياس الشائع والمعروف بمقياس ريختر (Richter) نسبة الى العالم الذى وضعه ويقيس هذا المقياس مقدار الزلزال (Magnitude) ويرمز لهذا المقدار بالحرف (M) • ويتم احتساب مقدار الزلزال من لوغاريتم سعة أكبر الموجات الزلزالية (log Maximum Amplitude of Seismic Waves) وبما أن هناك عدة أنواع من الموجات الزلزالية التي يمكن التقاطها وبالتالي تسجيلها على السجل الزلزالي (Seismogram) (او مجموعة الخطوط البيانية المتواصلة والمتغايرة انحناءاتها زمنيا والتي ترتسم التأريخ الزمني القصير نسبيا لتكسر القشرة الارضية عند حدوث الزلزال) ، لذلك وجد العالم ريختر بأنه بالامكان وصف الطاقة المتحررة (والتي تتناسب مع سعة الموجة المسجلة) من خلال قياس الموجات القصية أو المستعرضة (Shear or Transverse S-Waves) ، وحيث أن الطاقة الحركية المتحررة من حدوث الزلزال تتناسب تناسبا طرديا مع سعة الموجات الزلزالية المسجلة فهي بالتالي لها علاقة طردية مباشرة بمقدار الزلزال ، وعلى هذا الاساس فقد تم التوصل الى العلاقة التالية بين مقدار الزلزال (M) والطاقة المتحررة (E) : —

$$\log_{10}(E) = 1.5\,M + 11.4 \qquad \ldots(1)$$

واحيانا تكتب هذه المعادلة بالشكل التالي : —

$$\log_{10}(E) = 1.7\,M + 10 \qquad \ldots(2)$$

وتكون (E) المحسوبة من هذه المعادلتين مقدرة (بالارك) •

ان أكبر أو أقوى زلزال مسجل بلغ مقداره (٨ر٩) درجة على مقياس ريختر (ويقابل هذا طاقة متحررة قدرها $١٠^{٢٥}$ أرك) • لذا فقد تكوّن مقياس ريختر من (٩) درجات •• هذا وتجدر الاشارة

هنا الى أن مقياس ويختر يستخدم للزلازل الموقعية (Local) أو القريبة (Regional) بشروط أن لا يكون مصدرها عن نقطة الرصد أبعد من ١٠٠ كم ٠ من جهة اخرى وفي حالة رصد الزلازل الكبيرة والبعيدة المصدر (Teleseismic) يتم استخدام مقياس اخر يسمى بمقياس الموجات الجسمية (Body Wave Magnitude) والذى يستند على قياس سعة الموجات الزلزالية الانضغاطية أو الطولية (Compressional or Longitudinal P-Waves) ٠ومن الممكن ربط المقياسين انفي الذكر بالمعادلة التقريبية التالية (Marshall, 1970) :

$$M = 2.08\ m - 5.65 \qquad ...(3)$$

ان سعة الموجات الزلزالية المسجلة تتباين من محطة رصد الى محطة رصد اخرى ويعتمد ذلك على زاوية السمت للمحطة (Azimuth) وعلى شكل انبعاثات الموجات (Radiation Pattern) من المصدر ٠ وبذلك تختلف القوة المسجلة للزلزال باختلاف جهة محطة الرصد من المسقط السطحي لبوءرة الزلزال أو البوءرة السطحية (Epicenter) ويعتمد معدل الرصودات لعدة محطات رصد على التوزيع الجغرافي لهذه المحطات والتي يمكن من خلالها تعيين موقع الزلزال (Location) حسابيا ٠

وهناك مقياس ثاني لحجم الهزات الارضية يعرف بالعزم الزلزالي (Seismic Moment) ويرمز له (M_o) وقد وضعه العالم الياباني اكي (١٩٦٦) (Aki, 1966) ويعتمد هذا المقياس على ميكانيكية التكسر في بوءرة الهزة ٠ ويتم تقديره باحتساب معدل مساحة الازاحة أو الزحف الناتج على سطح التكسر (Average Area of Fault Slip) بالاعتماد على معامل القص (Shear Modulus) في الوسط المتكسر ٠ ويلاحظ في الهزات الضحلة بأن هناك تطابق جيد بين (عزم الزلزال و مقدار الزلزال) أما بالنسبة للهزات العميقة فأن العلاقة بين المقياسين كالاتي :ـ

$$\log_{10}(M_o) = M + 19.9 \qquad ...(4)$$

ويقاس (M_o) في هذه المعادلة بـ (الداين ٠ سنتمتر) ٠

اما مقدار الارتجاج والاهتزاز (Shaking) على سطح الارض فيقاس بواسطة مقياس وصفي يعرف بمقياس الشدة الناتجة عن الزلزال (Intensity Scale) ٠ وهناك عدد من مقاييس الشدة اشهرها مقياس ميركالي المعدل (Modified Mercalli Scale) المتكون من (١٢) درجة ٠ ويرمز للشدة حسب هذا المقياس (I) ٠ هذا ويمكن تقدير شدة الزلزال حسب هذا المقياس بسهولة من قبل أي راصد ذو خبرة حسب المؤشرات الواردة في الجدول رقم (١) التالي :ـ

جدول رقم (١) مقياس ميركالي المعدل

درجة الشدة	التأثيرات
١	لا يشعر بها الا عدد قليل جدا من الناس وتحت ظروف خاصة • تسجل بواسطة السزموغراف • لا تؤثر في الابنية الضعيفة • لا تؤثر في الابنية القوية •
٢	يشعر بها عدد قليل من الناس وفي حالة السكون • لا تؤثر في الابنية الضعيفة • لا تؤثر في الابنية القوية • تتأرجح الاجسام الرقيقة المعلقة كالصور •
٣	يشعر بها بصورة واضحة الاشخاص داخل البنايات • كما قد تتأرجح العربات الساكنة • لا تؤثر في الابنية الضعيفة • لا تؤثر في الابنية القوية • بالامكان قياس الفترة الزمنية التي تستغرقها الهزة • تعادل مقدار هزة مقدارها (٨ ر ٣) درجة على مقياس ريختر •
٤	يشعر بها الجميع داخل البنايات ويستيقظ النائمون • لا تؤثر في الابنية الضعيفة • لا تؤثر في الابنية القوية • تتأرجح العربات ويسمع صرير الشبابيك والابواب • تعادل مقدار هزة مقدارها (٣ ر ٤) درجة على مقياس ريختر •
٥	يشعر بها الجميع • تسقط بعض طلاءات الجدران • لا تؤثر في الابنية القوية • تتكسر الاواني وزجاج النوافذ وتتوقف الساعات البندولية عن العمل •

درجة الشدة	التأثيرات
٦	يشعر بها الجميع ويكون الكثير منهم في حالة هلع وخوف • تتهدم المداخن وتسقط طلاءات الجدران • لا تؤثر في الأبنية القوية • تتحرك الاثاث من اماكنها وتتقلب بعض الحاجيات • تعادل هزة أرضية مقدار (٣ و ٥) درجة مقياس ريختر •
٧	يهرب الجميع خارج البنايات ويشعر بها الناس داخل العربات المتحركة • تحصل تدميرات متوسطة للمباني الضعيفة • لا تتأثر الأبنية القوية • يمكن ملاحظة ارتفاع الموج في البرك والبحيرات وتحصل انهيارات على ضفاف الانهار ذات الانحدار الشديد • تعادل هزة أرضية بمقدار (٨ و ٥) درجة على مقياس ريختر •
٨	يعم الرعب • تحصل تدميرات كبيرة وتخريب عام للابنية الضعيفة • تحصل تخريبات متوسطة في الأبنية القوية • تسقط النصب التذكارية وتتهدم الجدران وتنقلب الاثاث وتحصل تغييرات في مستويات مياه الابار • تعادل هزة أرضية بمقدار (٣ و ٦) درجة على مقياس ريختر •
٩	يعم الرعب والهلع • تدمير شامل للابنية الضعيفة • تتحطم بعض التأسيسات وتتكسر الانابيب الموجودة تحت سطح الارض • كما تتشقق الارض • تعادل هزة أرضية بمقدار (٨ و ٦) درجة على مقياس ريختر •

درجة الشدة	التأثيرات
١٠	يعم الرعب والهلع . تدمير شامل للابنية الضعيفة . انهيار الابنية المبنية من الطابوق ، بينما تصمد المباني ذات الهياكل القوية وتتدمر التأسيسات بصورة كاملة . تتشقق الارض بكثرة وتنحني قضبان السكك الحديد كما تطفح مياه الانهار على الضفاف وتحصل انهيارات أرضية كبيرة (Land Slides) . تعادل هزة أرضية بمقدار (٣ ر ٧) درجة على مقياس ريختر .
١١	يعم الرعب والهلع . تدمير شامل وتام للابنية الضعيفة ولا يصمد الا عدد قليل جدا من الابنية القوية . تحصل تشققات ارضية واسعة وتظهر انحدارات الفوالق وتصبح خطوط الانابيب تحت الارض عديمة الفائدة . تعادل هزة أرضية بمقدار (٨ ر ٧) درجة على مقياس ريختر .
١٢	يعم الرعب والهلع . تدمير شامل وتام لجميع أنواع الابنية . يتغلب تعجيل الاهتزازات الارضية على التعجيل الارضي (أى يتجاوز ٩٨٠ سم / ثا ٢) بحيث تنقذف الاجسام في الهواء .

وكثيرا ما تدعو الحاجة الى تخمين تعجيل الحركات الارضية الزلزالية استنادا على تقارير شدة الهزات حسب مقياس ميركالي ، حيث يستعمل التعجيل المذكور لاغراض التصاميم . وقد توصل غوتنبرغ وريختر (١٩٤٥) (Gutenberg and Richter, 1945) الى العلاقة التجريبية (Empirical) التالية المبنية على المشاهدة والملاحظة :-

$$\log_{10}(a) = \frac{I}{3} - \frac{1}{2} \qquad ...(5)$$

حيث أن (a) تمثل التعجيل الارضي المقاس بالغال (gal) الذي يساوي لـ ١ سم / ثا ٢ .

والملاحظ بأنه كلما كانت البؤرة أقل عمقا كلما كانت الشدة على سطح الارض أكثر وبالتالي كان التعجيل الاهتزازي أكبر • راجع شكل رقم (١) •

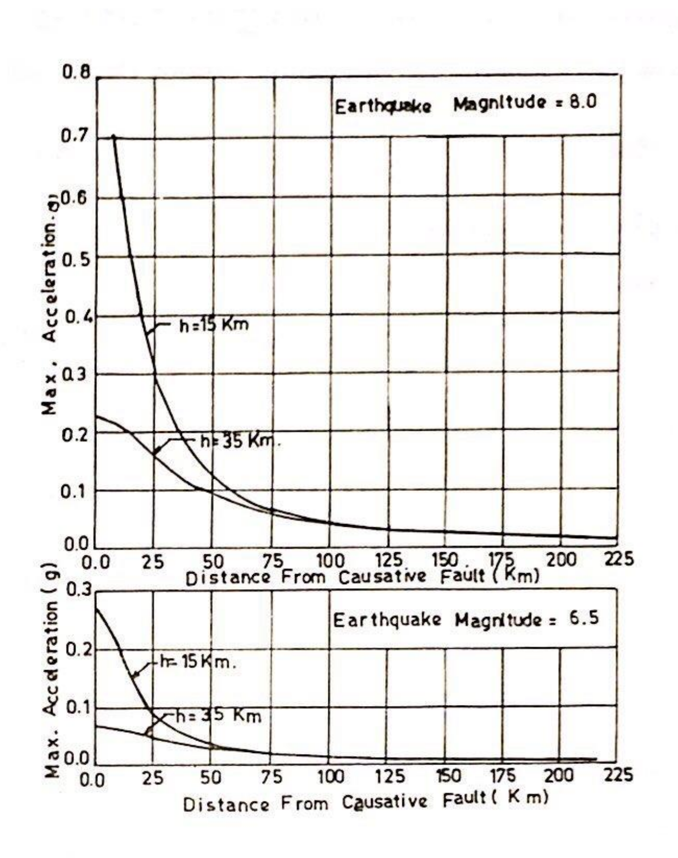
هذا وسوف نتطرق الى دراسة المعادلات الاخرى المتوفرة حاليا لتخمين التأثيرات الحركية للهزات الارضية لاحقا •

من جهة اخرى وضع مقياسا وصفيا اخر في اليابان للشدة ، حيث يتكون المقياس الياباني من (٧) درجات اضافة الى درجة (الصفر) وحسب الجدول رقم (٢) التالي :

جدول رقم (٢) مقياس الشدة الياباني

درجة الشدة	التأثيرات
١	ضعيفة للغاية كما يكون الاحساس بها ضعيف للغاية ويشعر بها الاشخاص في وضع الاسترخاء •
٢	ضعيفة للغاية ويكون الاحساس بها ضعيفا غير انها تكون محسوسة من معظم الناس • وتهتز الابواب والشبابيك قليلا •
٣	قوية نوعا ما وتهتز المنازل والأبنية • ويسمع صرير الابواب والشبابيك • وتتأرجح الاجسام المعلقة كالمصابيح الكهربائية • كما تتحرك السوائل في أوانيها •
٤	قوية وتهتز المنازل والأبنية بشدة وتنقلب الاجسام ذات الاستقرارية القلقة كما تنسكب السوائل من أوانيها •
٥	قوية جدا وتتشقق الجدران وتنقلب النصب كما تتضرر المداخن والمباني الضعيفة ويتساقط طلاء الأبنية •
٦	تسبب كارثة وتتهدم المنازل (٣٠٪ منها) وتحصل انزلاقات أرضية وتتشقق الارض والطرقات •
٧	تسبب كارثة شديدة ، حيث تتهدم المنازل (بنسبة تزيد على ٣٠٪) • وتحصل انهيارات وانزلاقات أرضية شديدة كما تحصل تشققات كبيرة فيها •

وقد بين البروفسور الياباني كاواسومي (١٩٤٣) (Kawasumi, 1943) بأن تعجيل حركة الارض في حالة الهزات الارضية في درجات الشدة المبينة في المقياس الياباني يمكن أن تخمن بموجب العلاقات التالية المبنية على المشاهدة والملاحظة :



FIG( ) MAXIMUM ACCELERATION VS FOCAL DISTANCE

شكل (١) - تغيير التعجيل الأقصى للحركة الأرضية مع البعد من الفالق

(From Lomnitz, 1974)

$$a_0 < 0.8 \text{ gal} \quad \ldots(5A)$$

$$a_n = 0.8 \, (10^{n-\frac{1}{2}} - 10^{n/2}) \text{ gal} \quad \ldots(5B)$$

$$1 \leqslant n \leqslant 7$$

$$a_7 = 250 \text{ gal} \quad \ldots(5C)$$

حيث أن (a_n) هو التحجيل المقابل لدرجة الشدة (n) •

لقد أوجد الباحثون عددا من العلاقات الحسابية بين مقدار الزلزال (M) وشدته (I) والبعد البؤري (Focal distance) والذى يرمز له (R) مقاسا بالكيلومترات • وفيما يلي معادلة (استيفا وروزنبلوت (١٩٦٤) (Esteva and Rosenblueth, 1964) :ـ

$$I = 8.16 + 1.45M - 2.46 \log_{10}(R) \quad \ldots(5D)$$

وتعطي هذه المعادلة نتائج جيدة في كل من امريكا الشمالية والمكسيك • أما في الزلازل التي يقل فيها البعد البؤري عن (١٠٠) كيلو متر فحينئذ يتخذ العمق البؤري (Focal depth) والذى يرمز له بـ (h) أهمية خاصة • وبموجب معادلة (أرغن (١٩٦٩) (Ergin, 1969) التالية فأن :ـ

$$I_0 - I = n \log_{10} \frac{(R)}{(h)} \quad \ldots(6)$$

حيث أن (I_0) هي الشدة في المسقط السطحي و (n) قد يكون العدد (٣) أو العدد (٥) • وقد يلاحظ أحيانا في نفس الهزة أن (n) تساوى (٣) في اتجاه معين ، بينما تساوى (٥) في الاتجاه الاخر •

كما أوجد الباحث اليوغسلافي توشج (١٩٨٠) (Tosic, 1980) عددا من العلاقات الحسابية بين (M) و (I_0) لبعض المناطق ذات الاهمية الخاصة في العراق ، وذلك من تحليل المعلومات والارصاد المتوفرة •

ففي منطقة أسكي موصل حصل على المعادلة التالية :

$$M = 0.55\, I_0 + 1.63 \quad \ldots(7)$$

بينما في منطقة بخمة حصل على ما يلي :

$$M = 0.59\, I_0 + 1.18 \quad \ldots(8)$$

وبالنظر لقلة المعلومات المتوفرة فلم يتمكن الباحث المذكور من الحصول على معادلة (M) كدالة لكل من (I_0) و (h) أى $M = F(I_0, h)$ • غير أنه وبصورة عامة يمكن القول بأن الهزات في المنطقة المحصورة بين جبال زاكروس ونهر دجلة تكون ضحلة ولا يتجاوز عمقها بين ١٥ ـ ٣٥ كم

وقد قام الباحث نفسه بتحليل المعلومات والارصاد المتوفرة لمنطقة القفقاس فحصل على :

$$M - \frac{2}{3} I_o = 1.65 \log_{10}(h) - 1.42 \qquad ...(9A)$$

وعليه فلو اعتمدنا هذه المعادلة مع أخذ(h) = 10 كيلو متر فأن النتيجة التي تعطيها هذه المعادلة تكون مقارنة للنتائج من المعادلتين (7) و (8) وبحدود دقة قدرها (١٠٪) عندما تكون الشدة بحدود (٥) وبحدود دقة قدرها (٣٪) عندما تكون الشدة (٩) • من جهة اخرى توصل الباحثان بوتونن وفارباسو (Puttonen and Varpasuo, 1982) في دراسة المخاطر الزلزالية لشمال العراق على المعادلة التالية التي تربط بين مقدار الزلزال وبعد البؤرة السطحية (Epicentral Distance وهي المسافة بالكيلومترات بين المسقط السطحي لبؤرة الزلزال ونقطة الرصد اعتمادا على المعادلات التي توصل اليها جاندرا (Chandra, 1969) لزلازل حدثت في ايران :

$$I = 8.44 + 0.95 M - 2.14 \ln(R + 20) \qquad ...(9B)$$

حيث أن

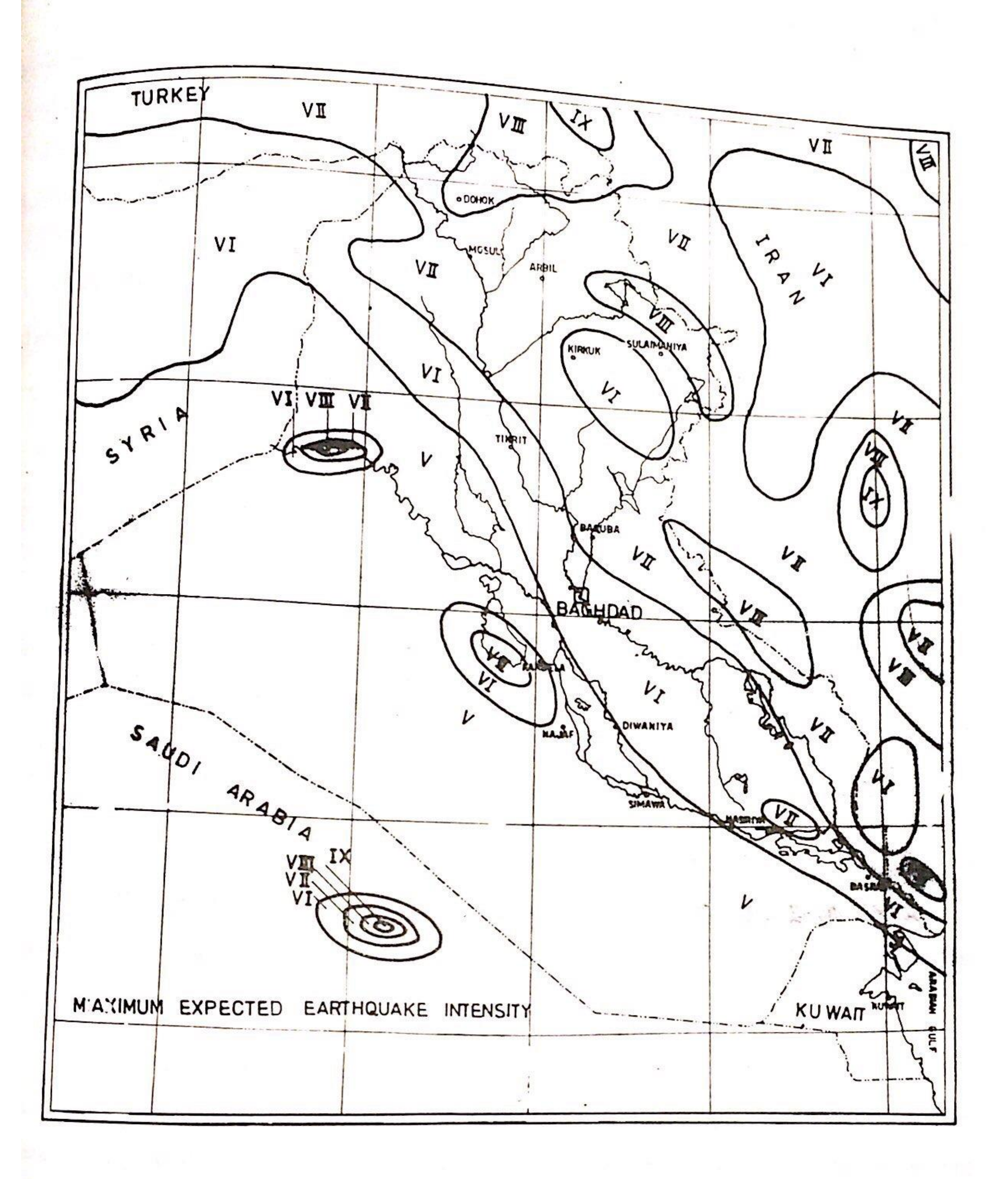
$$M = 1.05 I_o - 2.09 \qquad ...(9C)$$

باستعمال العلاقات اعلاه توصل فهمي (١٩٨٤)(Fahmi, 1984) الى ارتسام خارطة أولية تبين توزيع الشدة الزلزالية المتوقعة (Maximum Expected Intensity) في العراق (انظر الشكل رقم ٢) •

٤ • ١ كيفية تحديد بؤرة الزلزال (Epicentral Location)

كما سبق ونوهنا فأن بؤرة الزلزال هي تلك المنطقة من قشرة الارض التي حصل فيها التحرير السريع للطاقة المخزونة • أي هي تلك المنطقة التي حصل فيها الانفلاق والتشقق • وعليه فان الموجات الزلزالية تكون منبعثة على طول الفالق • ولغرض تبسيط العملية فأن منطقة تحرر الطاقة تعتبر نقطة واحدة وتسمى هذه النقطة بمركز الزلزال أو البؤرة (Hypocenter) •

ولغرض تحديد موقع زلزال معين فيجب أن يتم تسجيله في ثلاث محطات زلزالية على الاقل • ثم يتم تحديد أنواع الموجات الزلزالية على السجل الزلزالي (السيزموغرام) • وتتم الاستفادة من ظاهرة الاختلاف في سرع الانواع المختلفة من الموجات الزلزالية ، حيث يؤخذ الفرق في زمن وصول كل نوع من أنواع الموجات (وسوف يتم شرح انواع الموجات لاحقا) • ويمكن تحويل الفرق في زمن وصول الموجات الى مسافات باستعمال معادلات خاصة أو باستعمال جداول ومنحنيات معدة لهذا الغرض • ان المسافة التي يتم الحصول عليها هي المسافة المطلقة وتعني بذلك المسافة بين المحطة والبؤرة وبدون تحديد الاتجاه • أي أن المحطة الواحدة يمكن أن تحدد بعد البؤرة عنها غير أنها لاتستطيع تحديد اتجاه



شكل (٢) خارطة التوزيع المحسوب لشدة الهزات الارضية في العـــــراق •

(From Fahmi, 1984)

البؤرة منها • ولتحديد البؤرة بصورة دقيقة تستعمل خرائط معينة يثبت عليها مواقع محطات الرصد • ويتم رسم (حول محطة الرصد التي سجلت الزلزال) دائرة نصف قطرها المسافة المطلقة التي تم الحصول عليها من السجل الزلزالي • وتتم هذه العملية في بقية المحطات التي استطاعت تسجيل الزلزال نفسه • ان الدوائر المرسومة على هذه الخرائط سوف تتقاطع في منطقة ما • وتكون هذه المنطقة - المكان الذى حصل فيه الزلزال أى البؤرة السطحية •

١٠٥ الموجات الزلزالية (Seismic Waves)

يمكن تشبيه القشرة بجسم مرن (Elastic) ، وبذلك تخضع الموجات المتنقلة خلاله لقوانين المرونة ومنها قانون هوك •

$$E = \frac{\sigma}{G} \qquad \ldots(10)$$

حيث أن (E) هو التشوه الناتج عن الجهد (σ) • كما أن (G) هو معامل ثابت لمرونة المادة • ويكون له قيمة مختلفة اذا ما كان التشوه ناجم عن انضغاط المادة أو ناجم عن القص (Shear) •

وعند حصول زلزال في موقع ما من القشرة الارضية فأن هناك نوعين رئيسيين من الموجات الزلزالية التي تنجم عنه :

أولا : الموجات الباطنية أو الجسمية (Body waves) : وتنتشر خلال باطن الارض وتكون على نوعين:

أ – الموجات الطولية : (Longitudinal Waves)

ويكون اتجاه ذبذبتها باتجاه مواز لمسار الموجة • وهي الموجات الناتجة عن الانضغاط (Compression mode) وتسمى أيضا بالموجات الاولية (Primary Waves) ويرمز لها بـ (P-waves) • وتسير هذه الموجات خلال المواد الصلبة والسائلة على حد سواء •

ب – الموجات المستعرضة : (Transverse Waves)

ويكون اتجاه ذبذبتها باتجاه عمودى لمسارها • وهي الموجات الناتجة عن جهد مماس (Tangential stress) أى ناجمة عن فعل القص (Shear mode) وتسمى أيضا بالموجات الثانوية (Secondary waves) ويرمز لها بـ (S-waves) وتكون أقل سرعة من الموجات الطولية وتنتقل في المواد الصلبة فقط •

ثانيا : الموجات السطحية (Surface waves) : وهي الموجات المتنقلة على سطح الارض أو قريبا منها وهي التي تسبب معظم التخريبات عند حصول الزلزال اعتمادا على مدى تطابق التردد الموجي بالترددات الاساسية للابنية والمنشآت •

وتنقسم أيضا الى شكلين من الامواج :

أ ــ موجـــات ريلـــي (Rayleigh Waves)

وهي الموجات الطولية السطحيـة والتي تحاول تشويه السطح بالانضغـــاط .

ب ــ موجـــات لـــوف (Love Waves)

وهي الموجات المستعرضـة السطحية والتي تسبب تشويهات القص على السطح . وتعتمــد سرعة الموجة السطحيـة على تردد هــا كما تعتمــد على طبيعــة التركيب الجيولوجي القريـب من سطح الارض والطبقات الجيولوجيـة التي تسيــر خــلالهــا .

١٠٦ الهـــزات الثانويـــة (Aftershocks)

يمكن معرفة الهزة الارضيـة من بعض أو كل من الامـور الثــلاثـة التاليـــــة :ــ

الاول عند حصول تشقق في القشرة الارضية ، والثاني عند حصول تحرر سريع وعشوائي للطاقة المخزونة في باطن الارض نحو سطحها . أما الامـر الثالث فمن خلال انبعاث الموجات الزلزالية التي تنتشر خــلال باطن الارض وعلى سطحهــا . وتتلخص الميكانيكيـة التي تحصل فيهــا الهــزة بما يلـــي :ــ

أ ــ ازدياد حدة الاجهاد في منطقة محددة من القشرة وتمركزها حول فالق معين وقد تصــل حدة الاجهاد في منطقــة البوئرة حدا عاليا قد يبلغ (١٠٠) بار .

ب ــ حصول تشقق على طول الفالق ووقوع الهزة الارضيــة الرئيسيـــة ، حيث تتحرر بعض من الطاقـة المخزونة ، وبذلك تنقص الطاقــة المخزونة في مجال الاجهاد بمقدار يساوى الطاقة المنبعثـة كموجات زلزاليـة وطاقــة حــراريـة .

جـ ــ ولكي يستعيد الوسط استقراريتــه فأن ذلك يتم بتحرير الاجهادات المتبقية على شكل هــزات ثانويـة (Aftershocks) تعقب الهــزة الرئيسيــة .

ولغرض توضيح النقطة الاخيرة لابد من أن نذكر بأن الطاقة المتحررة تتناسب مع مربع الاجهاد فعند انخفاض الاجهاد في البوئرة بمقدار (٥٠٪) فأن هذا يعني بأن الطاقة المتحررة تســـاوى (٧٥٪) . وهذا يعني نقصان في الطاقة في القشرة الارضية في موقع الفالق عن مستوى التوازن ممــا يوءدى الى سريان الطاقــة نحو المناطق التي استنفذت فيها لاسترجاع حالة التوازن . ويأخذ هــذا السريان أوجــه عديدة كالطاقة الحرارية أو طاقة كامنة . وتكون حالة الاجهاد والتشوه في بوئرة الهــزة أبعد ما تكون عن حالة الاستقرار والتوازن مما يوءدى الى ازدياد الاجهاد التدريجي ووصوله مرة اخــرى

الى المستوى الحرج واطلاق عدد من الهزات الصغيرة المتتالية الثانوية (Aftershocks) • وعليه يلاحظ عند حصول هزات أرضية كبيرة في منطقة ما وقوع عدد من الهزات المتتالية التي تعقب الهزة الرئيسية وتكون أقل منها مقدارا •

١٠٧ الهزات الارضية والتفجيرات (Explosions and Earthquakes)

يمكن لأى انفجار في باطن الارض أو على سطحها أن يعتبر مصدر بسيط للهزات الارضية • وبالمقارنة مع أى هزة أرضية فأن هذا المصدر يعتبر مصدر نقطي (Point Source) وتكون جبهة الموجة البدائية المنبعثة عن الانفجار كروية وناتجة عن الانضغاط فقط (Compression mode) • عند وقوع الانفجار في باطن الارض ستكون الموجات الزلزالية الملتقطة في محطات الرصد بشكل رئيسي باطنية وبسيطة وطولية (P-waves) وتقدر الطاقة المتحررة من الانفجار أو مايعرف بحصيلة الانفجار (Yield) بما يكافئها عادة من مادة (تي ٠ أن ٠ تي) ، حيث أن حصيلة الطن الواحد من هذه المادة تساوى (٤×١٠^{١٦}) أرك • وعلى هذا الاساس فأن انفجار نووى بقوة (٢٠) كيلو طن (وهذا يساوى قوة قنبلة هيروشيما) يكون ذو حصيلة قدرها (٨×١٠^{٢٠}) أرك •

لذا نرى أنه بالامكان ومن خلال دراسة الموجات المسجلة للهزة الارضية (وبالذات الموجات الطولية) معرفة ما اذا كان السجل الزلزالي ناتج عن أسباب طبيعية أو عن تفجير نووى تحت الارض • وتستعمل طرق التمييز بين الزلزال والتفجير للتحقق من وقوع هذه التفجيرات • كما يمكن تقدير مقدار الانفجار من خلال معرفة حصيلة الانفجار محسوبة بالكيلوطن بشرط معرفة طبيعة الصخور في منطقة التفجير وفي الوسط الذى انتقلت فيه الموجات •

وقد أمكن التوصل الى المعادلة التالية لهذا الغرض :-

$$m = 0.67 \log_{10}(Y) + K + 0.3 \qquad ...(11)$$

حيث أن (Y) هي حصيلة الانفجار بالكيلوطن وان قيمة (K) تساوى (٤٫٢٥) اذا ما كانت الصخور من الغرانيت ، بينما تساوى (٣٫٢٥) للرسوبيات الجافة (Dry Alluvium) •

مما تقدم يمكن القول بأن قنبلة نووية بقوة قنبلة هيروشيما تعطي مقدار هزة (m) قدرها (٥٫٤) •

١٠٨ الطرق الاحصائية المستعملة في دراسة الهزات الارضية (Statistical Seismology)

قبل العديد من السنين كان الظن غالبا بأن الهزات الارضية ما هي الا ردود فعل في القشرة الارضية ناجمة عن اجهادات ذات تكرار منتظم • وكانت هناك العديد من الفرضيات حول هذا التكرار

وفتراته فمثلا اقترحت الفترات المنتظمة التالية لهذا التكرار : ٤٢ دقيقة ، يوم واحد ، ١٤٫٨ يـوم ، ٢٩٫٦ يوم ، ٦ أشهر ، سنة واحدة ، ١١ سنة ، ١٩ سنة • والملاحظ بأن هذه التكرارات مرتبطـة بتكرار الدوران في الافلاك لمجموعة (الشمس ــ الارض ــ القمـر) • ونحن لا نشك بأن قـوى جـذب الارض والقمر لها تأثير معين في توليد الاجهادات في قشرة الارض الا أنه لا تزال قوى الارض الباطنية هي الاساسية في حدوث الهزات الارضيـة ، ولذلك فأن تحليل أيـة سلسلة زمنية للهزات الارضيـة (Time Series) وبموجب متوالية فورير (Fourier Series) يفشل في تعقب أي أثر للفترات الزمنيـة الشمسية أو القمريـة • من ذلك فقد اقترح السيرهارولد جيفريس (Sir Harold Jeffreys) النظريـة القائلة بأن الهزات الارضيـة انما تتم نتيجـة انصياع (Yield) القشرة الارضيـة المـرن واللـدن (Elasto-Plastic) الحاصل في مركز الهزة والناجم من تراكم الاجهـادات التدريجي وصولا الى الاجهاد الحرج الذى ينتج عنه التكسر وبالتالي الزلزال •

ان هذه الظاهرة الطبيعيـة تتم بصورة عشوائية (Random) كأى ظاهرة طبيعية عشوائيـة اخرى كـالفيضـانات مثلا وان كان وقوعها متصلا بالموقـع العام للمنطقة وجيولوجيـة القشـرة الارضيـة في تلك المنطقـة •

وعليه فأن من الممكن دراسـة هذه الظاهرة باستخدام الطرق الاحصائيـة الرياضيـة وتمثيلهـا بنماذج رياضيـة عشوائيـة تمتلك نفس الخواص والصفات الاحصائية وتخضع لقوانين الاحتمالات (Probability Laws) •

١٠٨٠١ علاقة المقدار ــ التكرار ونموذج بواسون

(Magnitude-Frequency Relationship and Poisson's Model)

لقد توصل العالمان اليابانيان اشيموتو وايدا سنـة (١٩٣٩) (Ishimoto and Iida, 1939) عند دراسة السيزموغرامات لمنطقة كوانتو باليابان الى أن عـدد الهزات في منطقة ما تتناسب أسيا مع مقدارها وبموجب المعادلة التالية والتي تعرف بمعادلـة (المقدار ــ التكرار) لحدوث الهـزات الارضيـة :

$$\log_{10} N(M) = a - bM \qquad ...(12)$$

وقد توصل العالمان الامريكيـان غوتنبرغ وريختر سنة (١٩٤٥) (Gutenberg and Richter, 1945) الى نفس العلاقـة من دراسة عدة مناطق في العالم •

تعتبر علاقـة المقدار ــ التكرار المبينة في المعادلة رقم (١٢) القاعدة الاحصائية الاساسيـة لوصف الفعالية الزلزالية لمنطقة معينة ضمن فترة زمنيـة محددة ، حيث يمكن من خلالها تقدير (مـن الناحية الاحصائيـة) تردد حدوث الزلازل لتلك المنطقة في المستقبـل • وكما هو واضح من العلاقـة

فلو أرتسمنا عدد الهزات الارضية $N(M)$ لكل سنة ضمن عينة زمنية محددة (تحتوى على عدد معين من البيانات الزلزالية) لرقعة أقليمية ذات مساحة معينة على ورق نصف لوغارتمي (Semi-log) لوجدنا بأن العلاقة تمثل خط مستقيم ذو ميل (b) وقطع موجب (a) وهنا تمثل (a) مستوى الفعالية الزلزالية ، بينما تمثل (b) سرعة انخفاض أو هبوط الفعالية الزلزالية للمنطقة المدروسة عبر العينة الزمنية التي تم تحليلها (انظر الشكل رقم ٣) •

ولا بد لنا هنا أن نوضح حقيقة اساسية فيما يتعلق بعلاقة مقدار الزلزال بتكرار حدوثه وهي أن هناك عدم تكامل في البيانات الزلزالية في النهايات العظمى (M_{max}) والصغرى (M_{min}) للعلاقة ، لذلك يجب قطع التوزيع الاحصائي عند تلك النهايات • أما سبب النقص في البيانات من النهاية العظمى فمصدره طبيعي يتعلق بقلة حدوث الهزات الارضية الكبيرة ذات الطاقة الهائلة • من جهة اخرى فأن وجود حد أدنى لمقدار الزلازل سببه محدودية قابلية أجهزة الرصد الزلزالي على تسجيل الهزات الارضية الصغيرة والتي تقع تحت حد معين من المقدار (Threshold Magnitude) •

بالرجوع للعلاقة رقم (١٢) ومن الناحية الاحصائية التجميعية أو التراكمية يمكن تقدير أكبر قيمة متوقعة لمقدار الزلزال في العينة الزمنية والتي تساوى :

$$a/b = M_{max}$$

بالرجوع الى شكل رقم (٣) نرى أن القطع الموجب (a) يساوى $\log_{10}N(0)$ أى أن $\log_{10} N(0)$ يمثل عدد الهزات كافة التي تزيد على (صفر) وبمعنى اخر فأن (a) تمثل لوغارتم مجموع الهزات الارضية المتوقعة الحصول في فترة زمنية • ويمكن كتابة المعادلة (١٢) كالاتي :

$$\log_{10}N(M) = \log_{10}N(0) - bM \qquad M \geqslant 0$$

أى :

$$bM = \log_{10} \left[1 - F(M)\right]$$

حيث يمثل $F(M)$ توزيع التكرارات التراكمي (Probability Cumulative Distribution)

وبابدال اللوغاريتمات الاعتيادية الى اللوغاريتمات الطبيعية وتحويل الاساس من (١٠) الى (e) نحصل على :

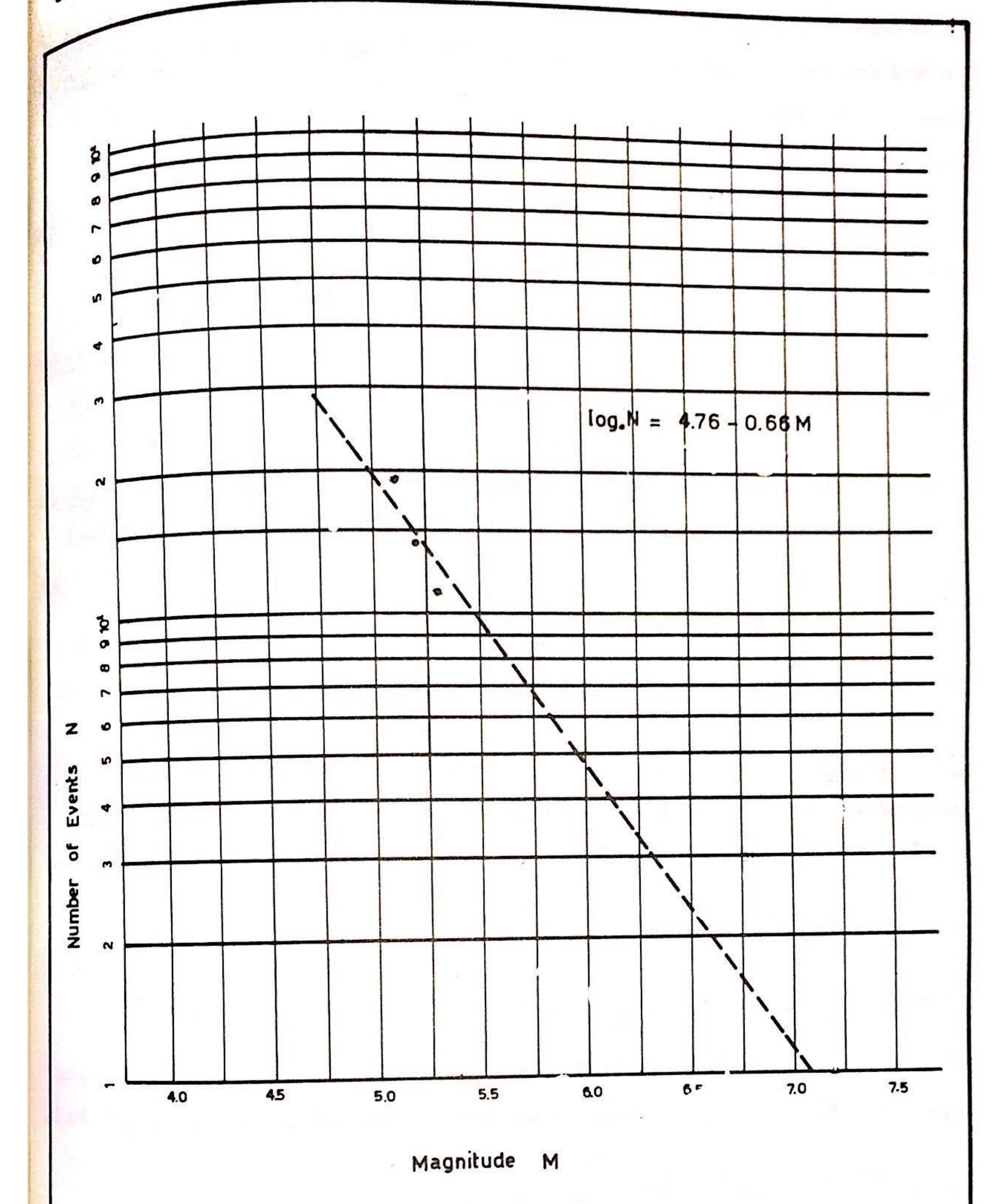
$$-BM = \log_{10} 1 - F(M)$$

أى

$$1 - F(M) = e^{-BM} \qquad M \geqslant 0 \qquad ...(13)$$

حيث أن

$$B = \frac{b}{\log_{10} e}$$



شكل (٣) علاقة التكرار – المقدار للهزات الارضيـــــة .

أما توزيع التكرار نفسه (Frequency distribution) فيمكن الحصول عليه بايجاد مشتقة المعادلة (١٣) بواسطة التفاضل ، حيث نحصل على :

$$f(M) = B\,e^{-BM} \qquad M \geqslant 0 \qquad \ldots(14)$$

تشير المعادلة (١٤) الى أنه اذا كانت ظواهر الهزات الارضية تخضع الى نموذج بواسون على اساس :

١ ـ توفر الاستقلالية بين حدوث الهزات الارضية .

٢ ـ ان الهزات المستقبلية تستند على الفعالية الزلزالية الماضية .

والتي يمكن أن تمثل بدالة توزيع بواسون :

$$P_n(M) = (\lambda M)^n\, e^{(-\lambda M)}/n! \qquad n = 0,1,2,\ldots$$

فأن توزيع الفترات الزمنية بين حدوث أي زلزالين متتابعين هو التوزيع الاسي (Exponential Distribution) . وبذلك يمكن استخراج متوسط المقدار ($\bar{M}$) حسب هذا التوزيع :

$$\bar{M} = \frac{1}{B}$$

وفي حالة اهمال الهزات التي تقل عن حد معين أي عندما يكون $M \geqslant M_{min}$

فأن معدل مقدار الهزة يكون :

$$\bar{M} = M_{min} - \frac{1}{B}$$

كما أن الانحراف المعياري (Standard deviation) كالاتي :

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{B}}$$

بالرجوع الى المعادلة (١٣) فمن الواضح بأنها تعطينا عدد الهزات كافة التي تزيد في مقدارها عن (صفر) . وفي حالة رغبتنا في الحصول على عدد الهزات التي تزيد في مقدارها عن حد معين (M_{min}) فعندئذ :

$$\frac{N(M_{min})}{N(0)} = \frac{1 - f(M_{min})}{1 - f(0)}$$

وحيث ان $f(0)$ يساوي (صفر) في نقطة الاصل و $N(0)$ تساوي عدد الهزات الارضية التي يزيد مقدارها على صفر أي $(10)^a$ فعندئذ :

$$N(M_{min}) = N(0)\left[1 - f(M_{min})\right]$$

أى :

$$N(M_{min}) = 10^{a}\left[e^{-BM_{min}}\right] \qquad M \geqslant M_{min}$$

مثـال : من دراسـة السجل الزلزالي لاحدى المناطق فقد تم التوصـل الى مـا يلـــي :

$B = 2.5$

$a = 5.3$ سنويا

والمطلوب احتساب متوسط مقدار الهزة لهذا السجل للهزات التي تزيد في مقدارها عن (٤ر٥) ، وكذلك ايجاد متوسط العدد السنوى المتوقع الحصول من هـذه الهزات •

الحـل :

متوسط مقدار الهزة ($\bar{M}$) عندما يكون $M \geqslant 4.5$

هو : $\bar{M} = 4.5 + \frac{1}{2.5} = 4.9$

أما المتوسط السنوى لعدد الهزات فيكون :

$$N(4.5) = 10^{5.3}\left[e^{-2.5(4.5)}\right] = 2.4$$

لذلك يمكننا أن نعرف بأن عدد الهزات سنويا سيكون اثنتان كحـد أدنـى •

٢•٨•١ نمـوذ ج كـولـنـدايـك (The Klondyke Model)

كما سبق وأوضحنا فأن أية هزة أرضيـة تعرف باحداثيـات موقعهـا الجغرافي ، أى خطوط الطول والعرض للمنطقـة (λ^{o}, ϕ^{o}) ، وكذلك زمن وقوعها (t) ومقدارهـا (M) علما بأن هناك ارتباط مباشر بين مقدار الهزة (M) (أى الطاقة المتحررة في الزلزال) وبين الوضع التكتوني للموقـع الجغـرافي ، لذا فأن من الممكن اعتبار التوزيع التكراري لمقدار الهزات(M) f(M) دالـــة للاحداثيـات ، وكذلك الحال بالنسبة لمعدل مقدار الهزات • وعليه يمكن اعتبار الدالة f(M) دالة حيزيـة (Space Series) • أما تتابع الهزات الثانوية (Aftershocks) الواحـدة تلو الاخرى بعد الهزة الرئيسيـة (Main shock) فهو يخضع لمتوالية زمنية (Time Series) معّرفة بدالة زمنية f(t) ، حيث يخضع هذا التتابع الى عشوائية هذه الهزات من الناحية الاحصائيـة ، وبذلك يكون مقدار الهزة الثانويـة مستقل عن زمن وقوعهـــا •

لقد اعتمد نموذج كلونودايك على هذا الاساس ، وذلك لدراسة الهزات الرئيسية والثانوية وعلى افتراض أن التوزيع التكراري المشترك لهذه الهزات يتكون من دالتين مستقلتين عن بعضهما الا أن احداهما تحد من الاخرى كما يجب أن تقع احداهما ضمن الاخرى •

فلو اعتبرنا $f(M,t)$ هو التوزيع التكراري المشترك بالنسبة للمقدار والزمن فعندئذ يمكن كتابته بالشكل التالي :

$$f(M,t) = f_1(M) . f_2(t) \quad ...(15)$$

ويمكن تقريب المتوالية الحيزية $f_1(M)$ بنموذج بواسون (معادلة رقم ١٣) ، حيث أن :

$$f(M) = 1 - e^{-BM}$$

و

$$\bar{M} = 1/B$$

لقد جاء افتراض نموذج كلونودايك هذا من تحليل هزة مايسو التي ضربت شيلي في (٤) أيلول سنة ١٩٥٨ وقد كان هناك ثلاث هزات رئيسة بمقدار (٦ر٩) درجة ، (٧ر٦) درجة ، (٦ر٨) درجة على التوالي ، ثم أعقب ذلك سلسلة من الهزات الثانوية عدد (٤٨) هزة وقد لوحظ بأن مقدار الهزات الثانوية هذه كانت متقاربة جدا ، (حيث كان أكبرها ٦ر٢٦ درجة وأصغرها ٥ر٣ درجة) وقد تتابعت للفترة من (٤) أيلول ١٩٥٨ ولغاية (٢٦) تشرين ثاني ١٩٥٨ وقد بقي معدل الهزات ثابتا تقريبا •

أما بالنسبة للمتوالية الزمنية $f_2(t)$ فقد وجد أتسو (١٩٦١) (Utsu, 1961) بأنها تخضع للمعادلة التالية :

$$f_2(t) = C_1 t^{-h} \quad ...(16)$$

حيث أن $f_2(t)$ تمثل تكرار الهزات الثانوية وأن (C_1) و (h) هما ثابتان • أما (t) فيمثل الفترة الزمنية محسوبة منذ وقوع الهزة الرئيسية •

هذا ويمثل الثابت (h) معدل تضاؤل واضمحلال تكرار الهزات الثانوية ويمكن من دراسة هذا الثابت التوصل الى استنتاج الحالة الفيزياوية وحالة الجهد في منطقة الهزات الثانوية • ويرى أتسو بأن المعادلة تعطي نتائج جيدة ولغاية (١٠٠) يوم بعد وقوع الهزة الرئيسية • أما عند تجاوز المدة ذلك فأنه يقترح المعادلة التالية :

$$f_2(t) = C_1 \, e^{-Pt} \quad ...(17)$$

حيث أن (C_1) و (P) هما ثابتان

١٠٨٠٢ الفعالية الزلزالية للعراق وعلاقة المقدار - التكرار

(Seismic Activity in Iraq and the Magnitude-Frequency Relationship)

يقع العراق من الناحية التكتونية على الحدود الشمالية الشرقية للصفيحة التكتونية العربية (Arabian Plate) وتتميز هذه الحدود بخط شبه مستمر من البؤر الزلزالية على امتداد سلسلة جبال طوروس - زاغروس (Tauros-Zagros) مشكلا بذلك حزاما ضخما يتاخم الحدود الشرقية والشمالية الشرقية للعراق • يعتبر هذا الحزام جزءا اساسيا ومكملا للحزام الزلزالي الاكبر الذى يمتد من سلسلة جبال الالب في أوربا مرورا بمنظومة جبال طوروس - زاغروس وصولا الى جبال الهملايا في الهند والصين •

تشير الدراسات السابقة التي أجريت خلال العشرة أعوام الماضية حول الزلزالية التأريخية (السنوى وغالب ١٩٧٥) (Al-Sinawi & Ghalib, 1975 a) والزلزالية الحديثة (السنوى وغالب ١٩٧٥) (Al-Sinawi & Ghalib, 1975 b) للعراق بأن فعالية وتردد حدوث الهزات الارضية تلازم بل وتناظر التوزيع التركيبي والتكتوني للقطر •

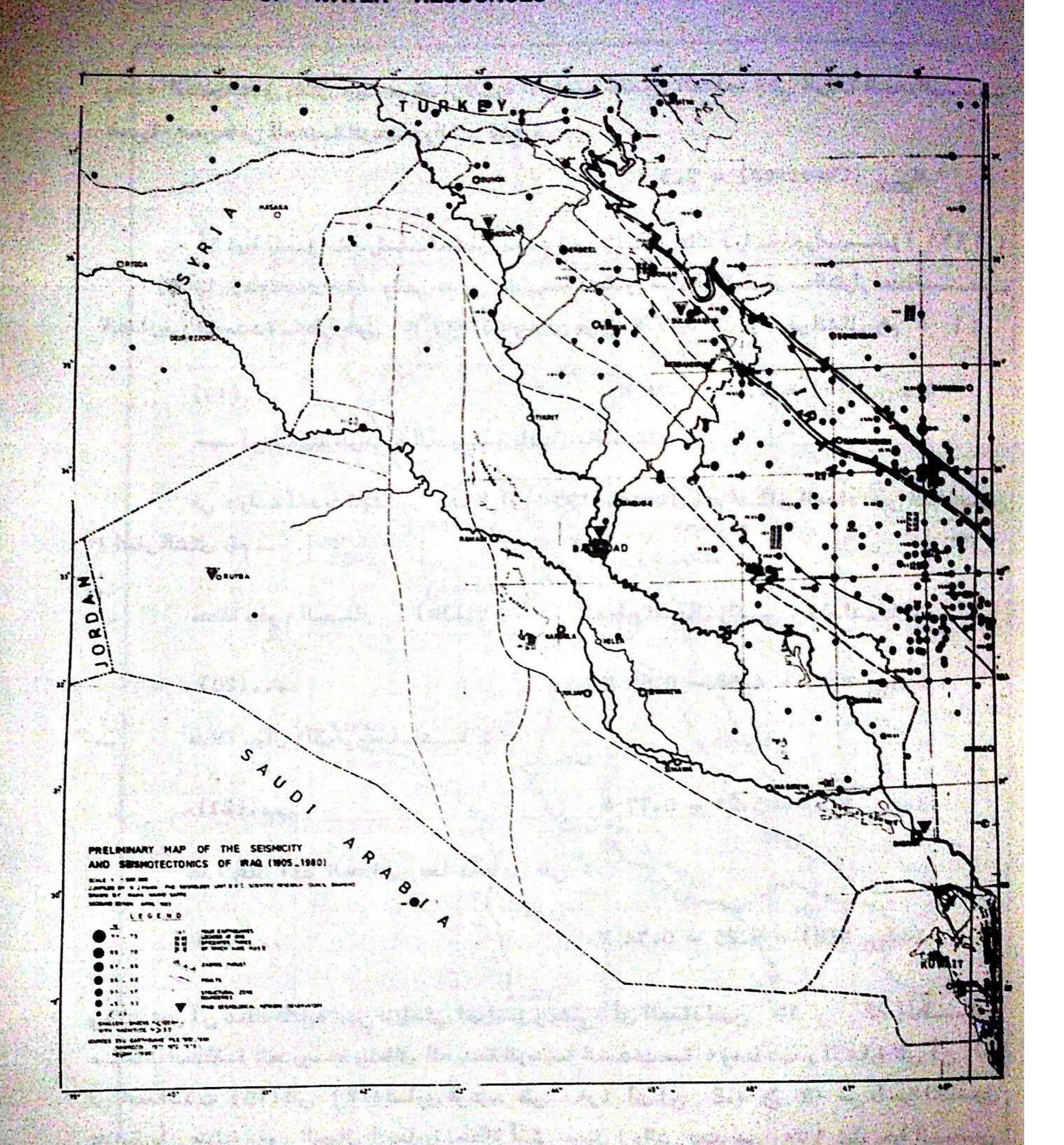
يوضح الشكل رقم (٤) هذه الحقيقة والذى يمثل خارطة أولية لمواقع البؤر الزلزالية ضمن الرقعة الجغرافية للعراق (خطي طول 38-49°N ; خطي عرض 28-38°N) مستنبطة من المعلومات الزلزالية والتكتونية المحدثة والمتوفرة لدى وحدة الرصد الزلزالي بمجلس البحث العلمي العراقي (فهمي ١٩٨٢ ; Fahmi, 1982) خلال الفترة من ١٩٠٥ - ١٩٨٠ • ومن الجدير بالذكر ان المعلومات الزلزالية المسقطة على الخارطة انفة الذكر، تعكس الطاقة الزلزالية (العائدة لوحدة الرصد الزلزالي) والتي تمثل سجل يحتوى على أكثر من ٥٧٠ زلزالا منذ عام ١٩٠٥ •

باستخدام الطاقة الزلزالية المتوفرة جرت عدة دراسات لايجاد علاقة المقدار - التكرار للعراق بشكل عام ولمواقع محددة ضمن القطر كان أحدثها وأشملها دراسة العباسي (١٩٨٤) (Al-Abbasi, 1984)، حيث تم تقدير معالم العلاقة (12) للعراق باستخدام طريقة المربعات الصغرى (Least Squares) كما موضح في العلاقة (18) أدناه :

$$\log_{10} N_c(M) = 6.19 - 0.84\, M \qquad (M \geqslant 4.5) \qquad \ldots(18)$$

حيث (N_c) تمثل التكرار المتجمع و $a = 6.19$ و $b = 0.84$ • بناءً على هذه العلاقة يمكن استخراج أكبر قيمة متوقعة لمقدار الزلزالية في المنطقة المدروسة ضمن العينة الزمنية البالغة ٧٨ سنة وهي :

$$M_{max} = \frac{a}{b} = 7.4$$



شكل (٤) خارطة توزيع بؤر الهزات الارضية في العـــــــراق .
(From Fahmi, 1982)

وهذه النتيجة تتفق بشكل جيد مع مقدار الهزة الارضيــة القصوى المشاهدة في الرقعة الجغرافيــة نفسها ضمن نفس العينــة الزمنيــة والذى يبلغ :

M_{max} (Observed) = 7.3

أما فيما يتعلق بالدراسات لمناطق محددة من القطر فهناك دراسة امبراسيـــز (١٩٦٩) (Ambraseys, 1969) والتي تم من خلالهـــا اشتقاق معادلة المقدار ــ التكرار لمنطقــة التضاريس المحددة بخطي طول $43^{o}-47^{o}N$ وخطي عرض $32^{o}-36^{o}N$ (انظر الشكل رقم ٥) :

$$\log_{10} N(M) = 5.2 - 0.74\ M \qquad \ldots(19)$$

حيث أن العينة الزمنيــة المدروســة كانت ٦٠ سنة •

في دراسة أحدث لتوشج (١٩٨٠)(Tosic, 1980) تم اشتقاق المعادلتين التاليتيـن (انظر الشكل رقم ــ ٦) :

ــ منطقة سفوح الجبــال (Foot hills) المجاورة لجبال زاكروس ومعادلتهـا :

$$\log_{10} N(M) = 4.58 - 0.69\ M \qquad \ldots(20)$$

ــ منطقة جبال زاكروس ومعادلتهــا :

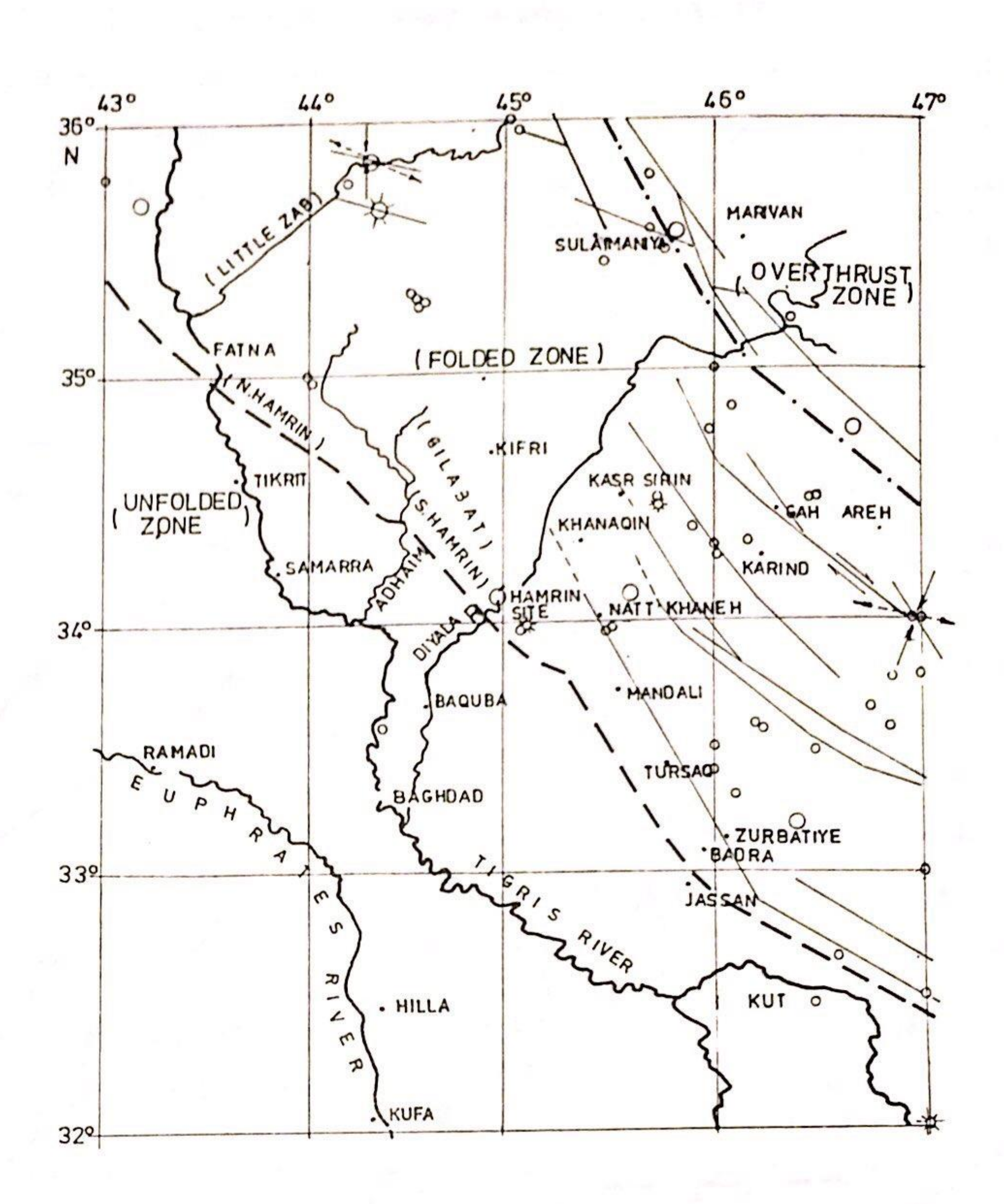
$$\log_{10} N(M) = 5.21 - 0.77\ M \qquad \ldots(21)$$

هذا وعند أخذ المنطقتين معا نحصــل على :

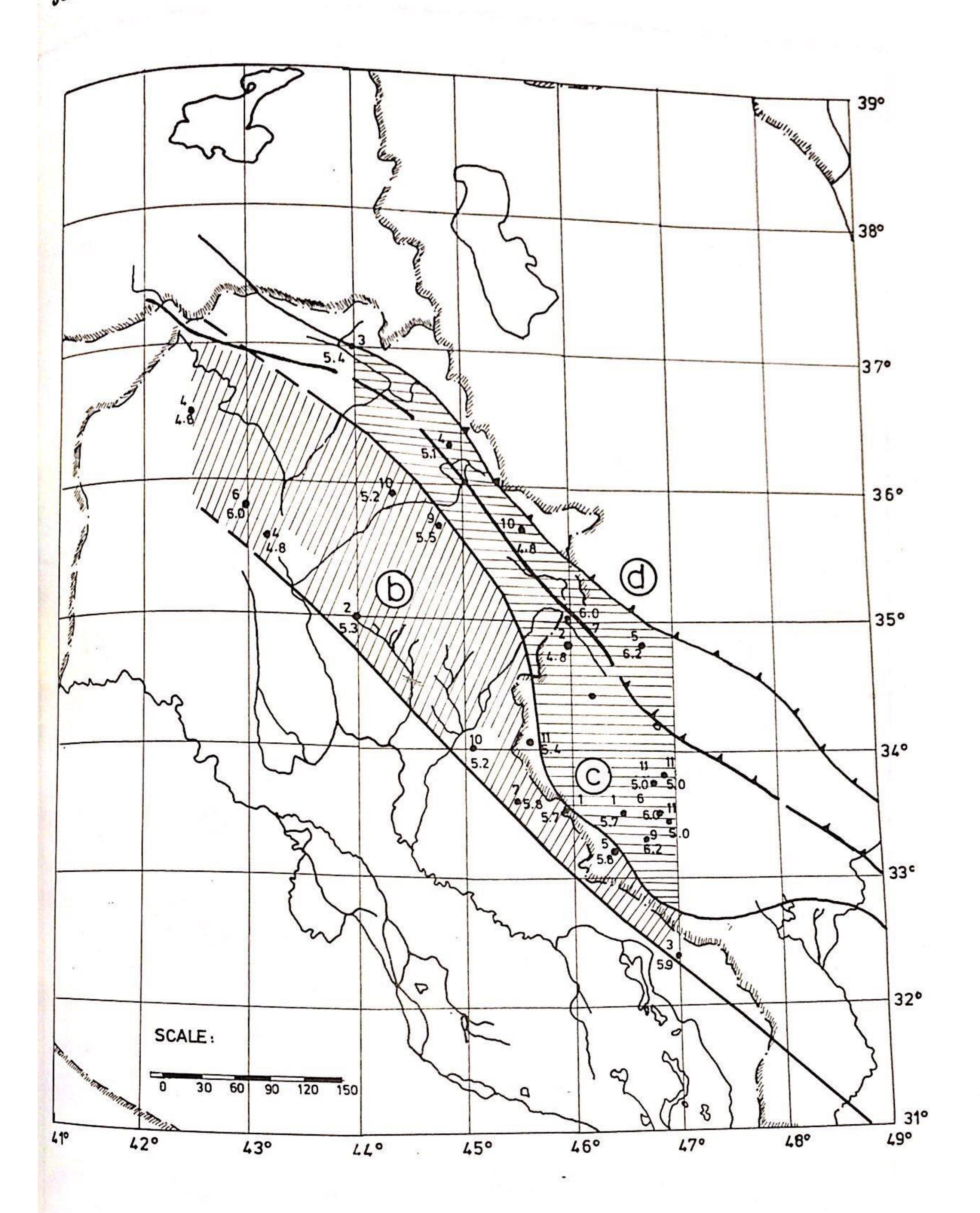
$$\log_{10} N(M) = 5.25 - 0.74\ M \qquad \ldots(22)$$

وبذلك نرى أن هناك تشابه بين دراستي امبراسيز وتوشج (أى المعادلتين 19 و 22) لتقــارب مساحات المنطقــة المدروســة ولتماثل العينــة الزمنيــة المستخدمــة • وهنا تجدر الاشارة الى أن (M) في المعادلات (19) الى (22) تساوى أو تزيد على ٤٫٨ أى أن $M \geqslant 4.8$• من ناحية اخــرى نلاحظ بأن منطقة سفوح الجبال المجاورة لمنطقة أسكي موصل (والتي تمتد من ١٥٠ كيلو مترا الــــى ٢٥٠ كيلو مترا من أسكي موصــل وبمساحة دائرية تخضع للمعادلة التالية (انظر الشكل رقم ٣) :ــ

$$\log_{10} N(M) = 4.76 - 0.66\ M \qquad (M \geqslant 5) \qquad \ldots(23)$$



الشكل (٥) - منطقة التضاريس في شمال وشمال شرق العراق مع مواقع بؤر الزلازل المهمة



شكل (٦) - المنطقة المدروسة من قبل توسج في شمال وشمال شرق العراق

(From Tosic, 1980)

١٠٨٠٤ نظرية القيم القصوى وتوزيع كمبل

(Extreme Value Theory and Gumbel's Distribution)

لو أخذنا عطية عشوائية افتراضية $f(X,t)$ ، حيث أن (X) هو متغير ذو أهمية هندسية لأحد جوانب التصميم وليكن ذلك مثلا (التصريف) لنهر ما • ولتكن الدراسة في هذه الحالة انشاء سد على هذا النهر • ففي أغلب الاحوال لا يعتمد تصميم السد على المعرفة الدقيقة للتغير في $f(X,t)$ وانما على القيم القصوى أو(الصغرى) للمتغير (X) والتي يمكن لهذا المتغير أن يأخذها خلال العمر التصميمي للمنشأ •

ان المعرفة الكاملة بالعطية $f(X,t)$ تتضمن ولا شك المعرفة الكاملة بالبيانات كافة بضمنها القيم القصوى أو (الصغرى) • الا أن تحليل سجل البيانات الكامل يكون عادة معقد ومتعب للغاية • كما أن هناك احتمال كون السجل المذكور غير كامل • لذا يمكن تقسيم العينة الزمنية للسجل الى فترات زمنية منتظمة وتركيز الدراسة على القيم القصوى أو(الصغرى) للمتغير في كل فترة من هذه الفترات •

وكما أشرنا انفا لو كان المتغير (X) هو التصريف في النهر ولو جعلنا (Y) تمثل تصريف الفيضان السنوي الاقصى (Maximum Annual Flood) فتمثل عندئذ القيم القصوى (Y) للسنوات المتتالية بعطية نقطية (Point Process) منتظمة تقع ضمن العطية الاصلية المستمرة $f(X,t)$ • ويمكن أن تمثل هذه العطية النقطية بتوزيع رياضي احصائي معين يستند بالاساس على نظرية الاحتمالات • من جهة اخرى تعتبر النظرية الاحتمالية في الاحصاء الرياضي المرتكز الاساسي في تحليل وتقييم المخاطر الزلزالية (احصائيا) وبالتالي توقع الحدوث الدوري لاقصى مقدار لزلزال (التنبوء الزمني) ضمن رقعة جغرافية معينة •

فيما يلي سنتناول نظرية القيم القصوى بشيء من التفصيل مستندين بذلك على دراسة العباسي (١٩٨٤) •

يعتبر أحصاء القيم القصوى حالة خاصة من الاحصاء الترتيبي والذى يتم من خلاله ترتيب المشاهدات (البيانات) تصاعديا (أو تنازليا) حسب قيمتها • فاذا كان M_i متغير عشوائي مستقل له دالة توزيع احتمالية $f(M)$ و $a \leqslant M_m \leqslant b$ فأن الصيغة العامة لاحتساب دالة التوزيع الاحتمالية للاحصاء المرتب من الرتبة m هي :

$$h_m(M) = \frac{n!}{(n-m)!\,(m-1)!}\; F_m^{m-1}(M)\left[1 - F_m(M)\right]^{n-m} f_m(M) \qquad \ldots(24)$$

وهنا يمكن ملاحظة أن العلاقة (24) تعتمد على التوزيع الاساسي للمتغير M وحجم العينة n والرتبة m .

ان دالة التوزيع الاحتمالية للقيم القصوى يمكن التوصل لها من العلاقة (24) بكتابة التالي :

$$\left.\begin{aligned} h_n(M) &= n\left[F_n(M)\right]^{n-1} f_n(M) \qquad a \leqslant M_n \leqslant b \\ h_1(M) &= n\left[1 - F_n(M)\right]^{n-1} f_1(M) \qquad a \leqslant M_1 \leqslant b \end{aligned}\right\} \quad \ldots(25)$$

وباجراء عملية التكامل على العلاقة (25) يمكن التوصل الى دالة التوزيع للقيم القصوى :

$$\left.\begin{aligned} H_n(M) &= \left[F_n(M)\right]^{n} \\ H_1(M) &= 1 - \left[1 - F_1(M)\right]^{n} \end{aligned}\right\} \quad \text{نفس مجال التغير للمعادلة (25)} \quad \ldots(26)$$

تقسم التوزيعات الاحتمالية الى ثلاثة أنواع :

- التوزيع الاسّي Exponential Distribution
- توزيع كوشي Cauchy Distribution
- التوزيع المحدد Bounded Distribution

تقع التوزيعات الطبيعية (Normal) واللوغاريتمية الطبيعية وتوزيع كاما (Gamma) ضمن التوزيعات الاسية ، بينما تقع توزيعات كوشي غير المحددة وباريتو (Pareto) ضمن توزيعات كوشي أما التوزيع المنتظم (Uniform) وتوزيع بيتا (Beta) فهما أمثلة على التوزيعات المحددة .

استنادا الى هذه الانواع من التوزيعات تمكن كمبل (١٩٥٨)(Gumbel, 1958) من ايجاد ثلاثة توزيعات تقاربية (Asymptotic) للقيم القصوى سميت على أسمه وهي التوزيع الاول والثاني والثالث اعتمادا على التوزيعات الاساسية التالية : الاسية وكوشي والمحددة وهي

على التوالي :

توزيع كمبـل الاول : (Gumbel Type I)

$$G_n^{I}(M) = \exp\left[-\exp - \alpha_n (M - U_n)\right] \quad \ldots(27)$$

توزيع كمبل الثاني : (Gumbel Type II)

$$G_n^{II}(M) = \exp\left[-(U_n - E/M - E)^{k_n}\right] \quad \ldots(28)$$

توزيع كمبل الثالث :(Gumbel Type III)

$$G_n^{III}(M) = \exp\left[-(W - M/W - U_n)^{k_n}\right] \quad \ldots(29)$$

حيث : α_n = دالة الكثافة القصوى (Extremal Intensity Function)

E = الحد الاسفل (Lower Limit)

W = الحد الاعلى (Upper Limit)

U_n = الصفة المميـزة القصوى (Characteristic Extreme)

k_n = معلمـة الشكـل (Shape Parameter)

من خلال ما تقدم يتضح بأنه يمكن تطبيق نظرية القيم القصوى لا يجاد الحد الاعلى لمقـدار الزلزال ، وذلك عن طريق تحليل السلسلة الزمنية لمقادير الهزات الارضية الحادثة فعلا في منطقـة ما استنادا الى الطفة الزلزالية المتوفرة لتلك المنطقة • بتقسيم الحيئة الزمنية لفترة التسجيل الى مراحل متساوية (عادة سنة واحدة) واستخراج أكبر مقدار للزلزال في تلك السنة ثم ادراجها زمنيا تتكـون لدينا قاعدة بيانات يمكن استعمالهـا في عطية تحليل القيم القصـوى •

كما ذكرنا سابقا فأن المعادلة (27) تفترض أن التوزيع الاساسي لمقدار الهزات الارضية غير محدد ومن النوع الاسي ، بينما المعادلة (28) تفترض التوزيع الاساسي محدد من الجهة السفلى ومن نوع كوشي ، أما المعادلة (29) فتفترض التوزيع الاساسي محدد من الجهة العليا ومن نوع المحددة ، هذا ولما كان الحد الاسفل لتوزيع القيم القصوى لمقادير الزلازل غير مهم بالنسبة للخطورة التي تشكلها الهزات ذات المقادير الصغيرة فأن تطبيق المعادلة (28) غير مجدي ولا فائدة في استخدامها ، وبذلك فأن الاهتمام ينصب عادة على التوزيعين الاول والثالث ،

بأخذ اللوغاريتم المضاعف يمكن تحويل التوزيع التقاربي الاول الى صيغة خطية والتوزيع التقاربي الثالث الى صيغة لوغارتمية ، حيث :

$$-\ln\left[-\ln G^{I}(X)\right] = \alpha(X - U)$$

$$-\ln\left[-\ln G^{III}(X)\right] = k\left[\ln(W - U) - \ln(W - X)\right]$$

بعد أن يتم تسقيط البيانات الفعلية على أوراق لوغارتمية مضاعفة (تسمى ايضا بأوراق كمبل الاحتمالية) بحيث يمثل محورها الشاقولي مقدار الزلزال ومحورها الافقي الحد $-\ln\left[-\ln G(X)\right]$ نستطيع تحديد وبصورة أولية التوزيع الذى يمثل الظاهرة أفضل تمثيل ، فاذا أقترب انتشار المشاهدات من الخط المستقيم فأن العينة تخضع للتوزيع التقاربي الاول ، أما اذا اقترب انتشار المشاهدات من منحني محدب (الى الاعلى) فأن الظاهرة تتبع التوزيع التقاربي الثالث ،

يمكن الاستفادة ايضا من نظرية القيم القصوى في تقدير الحد الاعلى لمقدار الزلزال خلال فترة محددة ، فاذا كان توزيع القيم القصوى لمقدار الزلزال $G(M)$ فأن :

$$P(M) = 1 - G(M)$$

وان متوسط عدد السنوات الكافية لحدوث هزة ارضية من المقدار أكبر من أو يساوى M أو الحدوث الدورى للهزات الارضية (Return Period) مقاسا بالسنين من المقدار M يمكن كتابتها كالتالي :

$$T(M) = \left[1 - G(M)\right]^{-1} \qquad \ldots(30)$$

بتعبير اخر فأن مقدار الزلزال M الذى يقابل T(M) معينة يمثل الحد الاعلى لمقدار الزلزال خلال تلك الفترة •

يبقى أن نذكر شيء عن تقدير معالم التوزيعات التقاربية • فهناك عدة طرق لتقدير معالم التوزيعات التقاربية (Estimating Parameters) من أهمها طريقة المربعات الصغرى (Least Squares) وطريقة الامكان الاعظم (Maximum Likelihood) • وتعتمد الطريقة الاولى على جعل مجموع مربعات الفروق بين القيم المشاهدة والمقدرة أقل ما يمكن ، بينما تعتمد الطريقة الثانية على جعل ما يسمى بالدالة المشتركة أعظم ما يمكن •

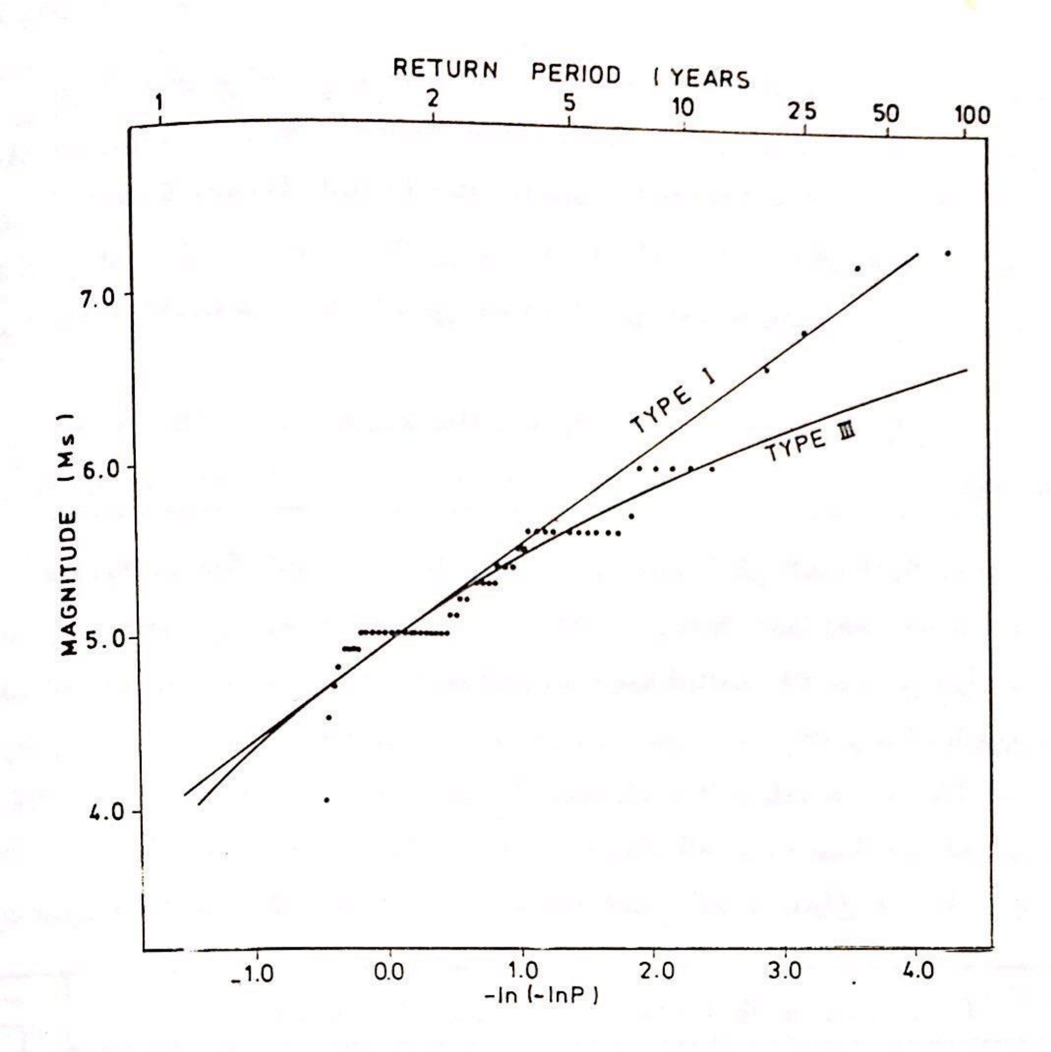
٥٠٨٠١ التوزيعات التقاربية لمقادير الهزات الارضية القصوى في العراق

Maximum Magnitude Asymptotic Distributions for Earthquakes in Iraq:

لقد تم تقدير معالم التوزيعين الاول والثالث لكمبل اعتمادا على الطفة الزلزالية في العراق من قبل العباسي وفهمي (١٩٨٥) (Al-Abbasi and Fahmi, 1985) ، حيث تم تهيئة القيم القصوى السنوية للمقادير بتقسيم العينة الزمنية البالغة ٧٨ سنة الى فترات متساوية باختيار اقصى مقدار للهزات الارضية التي حدثت في كل عام • بعد ذلك تم تقدير معالم التوزيعين الاول والثالث بطريقتي المربعات الصغرى والامكان الاعظم (باستعمال برنامج حاسبة لهذا الغرض) • يوضح الشكل رقم (٧) ماتم التوصل له بالنسبة لتقدير المربعات الصغرى ، بينما يمثل الجدول رقم (٣) الحدوث الدوري المشاهد والمقدر لمقادير الزلازل القصوى في العراق •

أقصى مقدار الزلازل (M)	الحدوث الدوري T(M) (بالسنين)		
	الحدوث المشاهد	الحدوث المقدر	
		التوزيع التقاربي الاول	التوزيع التقاربي الثالث
4.0	1.2	1.0	1.0
4.5	1.3	1.1	1.1
5.0	1.7	1.8	1.7
5.5	3.3	3.6	3.7
6.0	7.9	7.9	12.0
6.5	19.8	18.5	67.0
7.0	39.5	44.5	1096.0
7.5	-	108.0	-

جدول رقم (٣) الحدوث الدوري المشاهد والمقدر بطريقة المربعات الصغرى لمقادير الزلازل القصوى في العراق (From Al-Abbasi and Fahmi, 1985).



شكل (٧) التوزيعات التقاربية لمقادير الهزات الارضية القصوى في العراق مرتسمة على مقياس لوغارتمي مضاعف ومقدرة بطريقة المربعات الصغـرى • (From Al-Abbasi and Fahmi, 1985)

٩٠١ تقدير الحركات السطحية للهزات الارضية (Estimating Earthquake Ground Motion)

كما وسبق ذكره فأن الهزات الارضية تؤدي الى انطلاق طاقة حركية هائلة على شكل موجات زلزاليــة منها موجات سطحية واخرى باطنية أو جسمية طولية وعرضية والاخيــرة هي السبب الرئيسي فـــي التدمير والخسائر التي تتعرض لها المنشــات • ومن خلال تحليل الحركة الارضية نحصل على مركبـــات أفقية واخرى عمودية في جميع الاتجاهات • ويبدو ذلك جليا من دراسة الارصاد والسجلات الزلزاليـــة • من نتائج هذه الحركة حصول ازاحات (Displacements) كما أن ارتجاج سطح الارض يتم بسرعة وتعجيل (Velocity and Acceleration) يعتمدان على مقدار الهزة والبعد البوري من جهة وعلى طبيعة المنطقة جيولوجيــا وتكتونيا من جهة اخرى ، حيث تتلاشى وتتوهن هذه الحركة كلمــا زاد البعد عن البورة المذكورة •

لقد قام علماء الزلازل ومهندسي الهزات الارضية باشتقاق عددا كبيرا من معادلات التوهيـــن هذه (Attenuation Laws) اعتمادا على المعلومات المتوفرة لاقصى طاقة مسجلة في المراصـــد والتي تعطي نتائج جيدة في مناطق مختلفة من العالم استنادا الى كمية ونوعية المعلومات الزلزاليـــة المستخرجـة وتحليلها وعلى النظريات المتوفرة لمصدر الزلزال • لذا فانه من الضروري عند دراســـة زلزاليــة منطقــة ما استعمال أكبر عدد ممكن من معادلات التوهين هذه ومن ثم دراسة النتائج على ضوء ما سجــل فعــلا من أرصاد للمنطقــة وتاريخهــا الزلزالي •

يمكن تقدير تأثيرات الزلازل (ذات مقدار معين) على موقع جغرافي معين من خلال ايجاد علاقة رياضية وضعية بين التعجيل الاقصى المتوقع مـــن (Maximum Expected Ground Acceleration) فى الموقع نتيجة حدوث هزة أرضية افتراضية (تسمى بالهزة التصميميـــة (Design Earthquake) هذا ويمكن كتابة العلاقة الرياضية بشكل معادلة أسية عامة :

$$f(M) = \alpha \exp(\beta M) / R^{\gamma} \qquad ....(31)$$

حيث : f(M) هي دالة المقدار (أى الطاقة الواصلة) في الموقع تحت الدراسة نتيجة حدوث زلـزال معين وهي تتناسب مع الازاحـــة (x,cm) أو السرعة ($\dot{x}$,cm/s) أو التعجيل ($\ddot{x}$, cm/s^2) الارضي الاقصى المتوقع في الموقع • (علما أن : $\dot{x} = dx/dt$; $\ddot{x} = d^2x/dt^2$)

α ، β ، γ هي ثوابت المعادلة وتعتمد بشكل رئيسي على f(M) وعلى كميـــة ونـوعيــــــــة المعلومــــات الزلزاليـــة المستخدمـــــة •

R : البعد البوري (Focal or Hypocentral Distance)

هناك عدد من معادلات التوهين تم التوصل اليها خلال العقدين الماضيين يمكن من خلالها تقدير التعجيل الارضي المتوقع وتعتبر هذه المعادلات عامة وشاملة لكافة انحاء العالم (Global Attenuation Laws) هذا وندرج في الجدول رقم (٤) أهم هذه المعادلات المعتمدة حاليا في التطبيق مبينين ازاء كل منها المصدر الذي تم استخراج المعلومات منه :

مصدر المعلومات	الحد α	الحد β	الحد γ	صيغة الحد R
Esteva (1967)	2000	0.8	2.0	R
Donovan (1973)	1080	0.5	1.32	R + 25
Esteva (1974)	5600	0.8	2.0	R + 40
McGuire (1974)	472	0.64	1.3	R + 25
Ambraseys (1975)	2.88	1.45	1.1	R
Ambraseys (1978)	1.33	1.46	0.92	R + 25

جدول رقم (٤)

القيم الثابتة لاهم معادلات التوهين (حسب المعادلة ـ ٣١)

المطبقة في العالم في الوقت الحاضر .

لقد توصل كذلك دونوفان وبورنشتاين (١٩٧٨) (Donovan & Bornstein, 1978) الى أحدث معادلة للتوهين تمكنا الباحثان من خلالها ربط البعد البؤري للزلزال بقيم الثوابت α، β، γ بشكل أكثر دقة :

$$\ddot{x} = b_1 \exp (b_2 M)/(R + 25)\ b_3 \qquad \ldots(32)$$

حيث :

$$b_1 = 2154 \times 10^3 / R^{2.1}$$

$$b_2 = 0.046 + 0.445 \log R$$

$$b_3 = 2.515 - 0.486 \log R$$

من جهة اخرى فمن الممكن التعبير رياضيا عن ترابط التعجيل الارضي المتوقع بأقصى شدة زلزالية تم تخمينها في الموقع • فلو استذكرنا المعادلة رقم (٥) نجد بأن العلماء المختصين أوجدوا صيغة وضعية بين التعجيل والشدة الزلزالية ، وهناك عدة معادلات تستخدم في الوقت الحاضر وأهمها ما يلي :

- معادلة ميلن ود افنبورت (١٩٦٩) (Milne and Davenport, 1969)

$$\log_{10} \ddot{x} = I/3 - 1.5 \qquad \ldots(33)$$

- معادلة ترايفوناك وبريدي (١٩٧٥) (Trifunac and Brady, 1975)

$$\left.\begin{aligned} \log_{10} \ddot{x}_{(H)} &= I/3 - 0.014 \\ \log_{10} \ddot{x}_{(V)} &= I/3 - 0.18 \end{aligned}\right\} \qquad \ldots(34)$$

حيث : H و V تعني قياس التعجيل الارضي بالاتجاهين الافقي والشاقولي على التوالي •

هذا ومن الممكن تطبيق المعادلة رقم (34) للشدة الزلزالية التي تقع بين 4 الى 10 درجات على مقياس مركالى المعدل (راجع الجدول رقم ـ ١) •

ولا بد من التأكيد مرة اخرى بأن الوضعية الجيولوجية للموقع وخواص التربة فيه لها التأثير البالغ والكبير على القيم الفعلية للتعجيل الارضي ولسرعة الموجات الزلزالية ، حيث من المعلوم بأنه في حالات الهزات القريبة التي تتجاوز في شدتها (٥) درجات على مقياس ميركالي المعدل فأن قيمة التعجيل الاقصى في التربة الصلبة (Hard Soil) تكون حوالي ضعف قيمته في الصخور الرخوة أو الترب الرسوبية (Loose Soil) • حيث أثبت ذلك خلال الاعوام العشرة الماضية من تحليل ارصاد مختلفة مسجلة في أوربا وغرب الولايات المتحدة الامريكية ، كذلك هو الحال بالنسبة

للازاحات ، حيث ان الازاحة القصوى في الترب الرخوة تبلغ حوالي ضعف ماتبلغه في الترب الصلبة ، لذلك فأن الاستنتاج المهم الذى يمكن التوصل اليه هو أن نوعية تربة الاسس لها التأثير الكبير على تصاميم المنشات الهندسية كالسدود مثلا عند دراسة الاستقرارية الديناميكية لها .

الباب الثاني

التأثيرات الفعلية على السدود والمنحدرات الطبيعية

Part Two

Actual Effects on Dams and Natural Slopes

٢٠١ مقدمة (Introduction)

ان الهدف النهائي من دراسة تأثيرات الزلازل على السدود هو التأكد بما لا يقبل الشك من السلامة المطلقة لهذه السدود سواء القائمة منها أو المخطط لاقامتها ، كما أن الخبرة المكتسبة من تصاميم السدود الكبيرة القائمة تعتبر الاساس لتصاميم السدود الجديدة • وان مراقبة السدود الواقعة تحت تأثير الزلازل وملاحظة مدى ونوع الاضرار الحاصلة فيها تعتبر الخطوة التالية لزيادة هذه الخبرة واغنائها • ويتوفر الان في هذا الحقل تجربة جيدة متراكمة من انهيارات بعض السدود اضافة الى الدراسات النظرية والتحريات الموقعية لاكتشاف أسباب وميكانيكية هذه الانهيارات •

ولا بد لنا أن نذكر بأن أحد أشكال ميكانيكية تداعي وانهيار السدود تحت تأثير الزلازل ناتج عن تميع (Liquefaction) المواد المكونة لبعض أو كل أجزاء السد ويؤدي ذلك الى فقدان مقاومة هذه المواد لقوى القص وبالتالي حصول الانزلاقات في جسم السد • كما أن هناك أسباب عديدة اخرى قد تسبب هذا الفشل • وقد تجتمع عدة أسباب معا لحصول هذا الامر مما يتطلب دراسة كافة هذه الامور وبيان الظروف التي قد تحصل فيها بقصد تلافي وقوعها ، وسوف نتطرق الى بحثها في الاقسام التالية من هذا الفصل • ولا بد في البدء من اعطاء فكرة عن درجة الامان المتوفرة في موقع ما أو في تصميم معين أو مايعرف (بالخطورة الزلزالية Seismic Risk) ، حيث ان ذلك يقودنا الى تحديد الخطوط العريضة التي سوف يستند عليها تصميم السد لمقاومة هذه التأثيرات وبالتالي يعطينا المؤشرات الاولى لشكل السد ومكوناته ودرجة الضرر التي قد يتعرض لها تحت تأثير الهزات الارضية المختلفة •

٢٠٢ الخطورة الزلزالية وعلاقتها بتصاميم السدود (Seismic Risk and Dam Design)

يمكن تعريف الخطورة الزلزالية لموقع معين بمدى امكانية تعرض الموقع المذكور خلال فترة زمنية معينة لزلزال ذو قوة قصوى محددة ، وكذلك تكرار كافة الزلازل الاخرى الاقل قوة خلال هذه الفترة مع مدى التأثيرات السطحية التدميرية التي تصاحب الحركة السطحية للموجات الزلزالية وكما تم شرحه في (١٠٩) •

ان ما يهم البحث في هذا المجال هو مدى الاضرار والتخريبات التي تحصل جراء هذه الحركة والحد المسموح به منها ، حيث أن تصاميم المنشات الهندسية يجب أن تأخذ هذا الموضوع بنظر الاعتبار لتقليل الضرر الى أقل درجة ممكنة وضمن حدود اقتصادية •

ان فلسفة تصاميم السدود الحديثة تعتمد هذين المبدأين ، أي السلامة والكلفة الاقتصادية كأساسين لتحديد مدى الخطورة الزلزالية الواجب اعتمادها للتصميم وأن هذا متفق مع

توصية المؤتمر العالمي للسدود العالية (ICOLD) حيث يعتمد التصميم مستويين لخطورة الهزات الارضية :

- المستوى الاول (وهو المستوى الاوطأ)

ويعرف بمستوى الهزة الارضية التصميمية (Design Earthquake) : وهو ذلك المستوى من الهزات الارضية الذى لا يسمح فيه بحصول أى ضرر للسد أو منشاته ، لذا فعند اجراء حسابات الاستقرارية الديناميكية (Dynamic Stability) يتم اختيار معاملات الامان بحيث تكون جميع الاجهادات ضمن حدود المرونة (Elastic Limits) ولا يسمح بحصول أى تشوه دائمي ، وعليه يجب أن لا يلحق بالسد أو منشاته في هذا المستوى أى ضرر قد يؤثر على تشغيله خلال أو بعد الهزة التصميمية .

- المستوى الثاني (وهو المستوى الاعلى)

ويمثل هذا المستوى الهزة الارضية القصوى الممكنة (Maximum Credible Earthquake) وان مفهوم هذه الهزة يشابه من وجوه كثيرة مفهوم الفيضان الاقصى المحتمل (Maximum Probable Flood) في حسابات الفيضانات . وهي أقصى هزة أرضية ممكنة الحدوث على الاطلاق في موقع السد أو المناطق القريبة منه . وتلعب جيولوجية المنطقة وتكوينها التكتوني مثل وجود الفوالق النشطة وشكلها وطوبوغرافية الارض وتركيبها الجيولوجي الدور الرئيس في تحديد خطورة الهزة .

هذا ويتم ضمن هذا المستوى اختيار معاملات الامان في حسابات الاستقرارية الديناميكية بحيث يسمح بحصول الاجهادات والتشوهات الدائمية (أى خارج حدود المرونة) وعلى شرط أن لا تؤثر الاجهادات والتشوهات على سلامة السد ولا تسبب تداعيه أو انهياره . ويكون من الطبيعي أن يحتاج السد ومنشاته بعد وقوع مثل هذه الهزة الى أعمال تصليح لجعلها تقوم بعملها الاصلي الذى كانت صممت من أجله ، وبذلك فأن التصميم يأخذ بعين الاعتبار في هذا المستوى حصول بعض الاضرار وان اختيار معامل الامان لتحديد مدى الخطورة الزلزالية الممكن تحملها ومدى الاضرار المتوقعة فيها هي مسألة اقتصادية . والامر الاساسي في هذا الموضوع هو عدم السماح بانهيار السد ، حيث أن الاضرار الناجمة عن هذا الانهيار وخاصة بالنسبة (للارواح) تعتبر عالية . وقد لا يمكن تقييمها بمعايير اقتصادية ، اضافة الى الاعتبارات الاجتماعية والسيكولوجية التي تحتم عدم حصول مثل هذا الشيء .

وخلاصة القول فأن بحث الخطورة الزلزالية بالنسبة للمنشات الهندسية وخاصة السدود يتعدى ايجاد احتمالات وقوع الزلازل المختلفة ومقدارها الى مدى الاضرار المتوقعة . ويرتبط ذلك بتصميم المنشأ أو السد نفسه .

هناك اسلوبان لدراسة جوانب الخطورة الزلزالية وتحديد الهزة الارضية التصميمية :

أ) الاسلوب الحتمي (Deterministic Procedure)

ب) الاسلوب الاحتمالي (Probabilistic Procedure)

يتضمن الاسلوب الحتمي دراسة الجيولوجية الاساسية للمنطقة وتكوينها التكتوني ، وذلك ضمن دائرة نصف قطرها حوالي (٣٠٠) كيلو متر عادة ، ويمكن أخذ نصف قطر أكبر في حالة وجود بؤر زلزالية قوية موجودة (في مناطق يزيد بعدها عن ذلك بقصد ادخال هذه البؤر ضمن منطقة الدراسة) • ثم تقسم هذه المنطقة الى المناطق التكتونية الزلزالية المختلفة المكونة لها (Seismotectonic zones) ، وتدرس كل من هذه المناطق بتعيين حدودها على الخارطة ، ثم تحدد مواقع الفوالق النشطة • وتتم دراسة السجل التاريخي للهزات فيهما ، فتحدد وترسم بؤر الزلازل ويتم تخمين شدتها في حالة عدم وجود أرصاد مسجلة لها • ويتم بعدئذ اختيار عدد من الهزات الكبيرة من ضمنها وتجرى عملية تعظيم (Maximization) لتأثيرات هذه الهزات بالنسبة لموقع السد ، وذلك بأن يتم نقل بؤر هذه الزلازل على طول الفوالق والى أقرب نقطة للفالق من موقع السد ، ثم باستعمال معادلات التوهين المناسبة تحدد شدة الهزة وتأثيراتها الحركية على موقع السد • ونتيجة لذلك نحصل على عدد من الهزات الكبيرة المفترضة الوقوع في أو قرب موقع السد ، حيث يتم اختيار الهزة ذات أشد التأثيرات على الموقع من بين هذه الهزات ويتم اعتمادها كهزة تصميمية (DE) ويمكن توضيح هذه العملية بالشكل رقم (٨) •

نرى مما تقدم أعلاه بأن هذا الاسلوب رغم اعطائه الهزة الارضية التصميمية للموقع الا أنه لا يحدد احتمالات حصول مثل هذه الهزة وبالتالي لا يعطينا مقياسا دقيقا لمدى الخطورة المتوقعة في اعتماد هذه الهزة ، ولذلك يفضل الاسلوب الاحتمالي في كثير من الحالات ، حيث أن الاسلوب الاخير يعطينا معدل تكرار الهزات الارضية المختلفة في الموقع •

في الاسلوب الاحتمالي هناك عدد من الخطوات الواجب اتباعها وكما يلي :

أ) يتم تحديد المنطقة المحيطة بالسد على الخرائط وكما هو الحال في (الاسلوب الحتمي) كما يتم تقسيم هذه المنطقة الى مناطق تكتونية زلزالية مختلفة أيضا •

ب) يتم تقسيم كل منطقة تكتونية زلزالية حسب خطوط الطول والعرض المارة بها الى شبكة من القطع (Elements) •

جـ) يفترض بأن الفعالية الزلزالية لكل قطعة موزعة بصورة منتظمة في تلك القطعة ، وعليه يمكن افتراض ان هذه الفعالية متمركزة في مركز القطعة لغرض الحسابات •

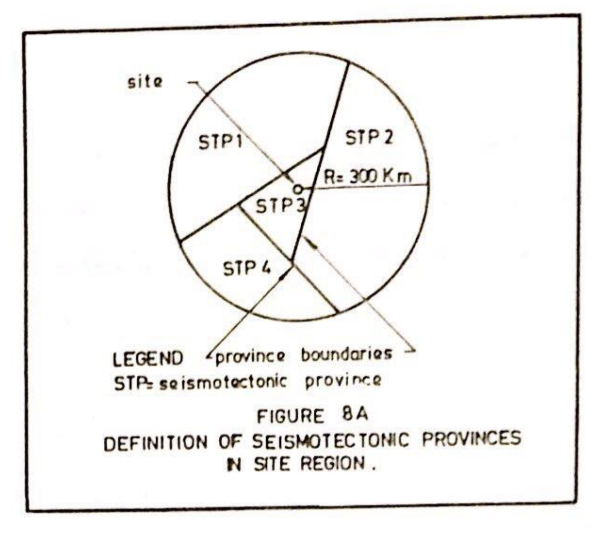


FIGURE 8A
DEFINITION OF SEISMOTECTONIC PROVINCES IN SITE REGION.

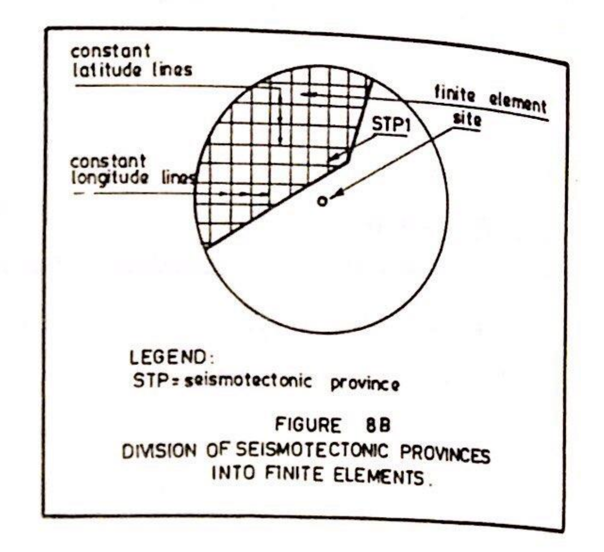


FIGURE 8B
DIVISION OF SEISMOTECTONIC PROVINCES INTO FINITE ELEMENTS.

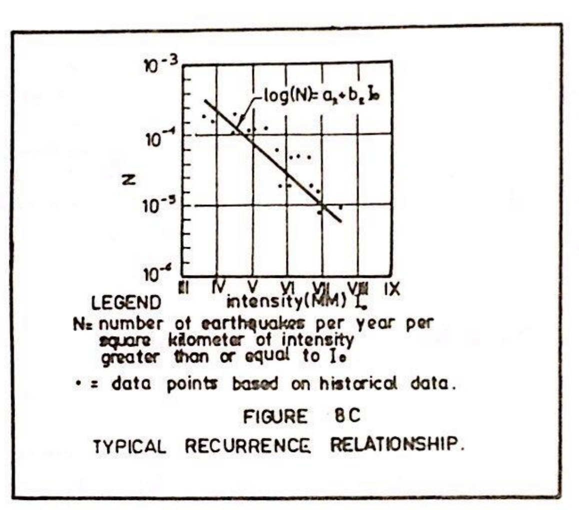


FIGURE 8C
TYPICAL RECURRENCE RELATIONSHIP.

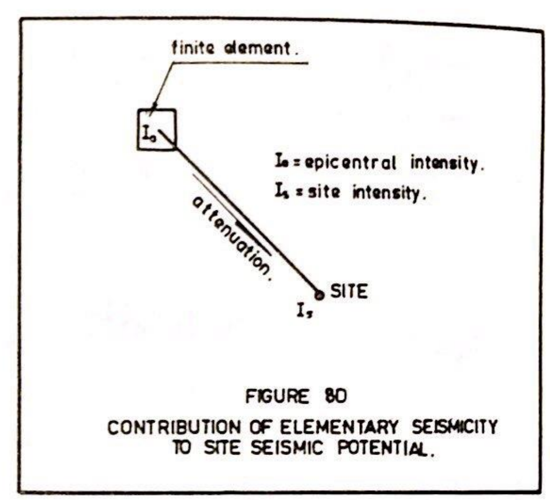


FIGURE 8D
CONTRIBUTION OF ELEMENTARY SEISMICITY TO SITE SEISMIC POTENTIAL.

شكل (٨) - دراسة الخطورة الزلزاليه لموقع معين بسبب الهزات الأرضية في المنطقة المحيطه به .

د) يتم اشتقاق معادلة التكرار (حسب نموذج بواسون) لكل قطعة ، اما بدلالة الشدة أو بدلالة المقدار اذا ما توفرت الارصاد المسجلة الكافية ، وذلك بعد دراسة السجل الزلزالي لكل منها ويكون :

$$Log\ (N_{kj}) = a_k + b_k I_o$$

حيث أن (k) يرمز للمنطقة التكتونية الزلزالية و (j) تمثل القطعة ذات العلاقة و (a_k) و (b_k) ثوابت معادلة بواسون للمنطقة ، كما أن (N) هو عدد الهزات التراكمي لكل كيلو متر مربع ، ويمكن كتابة المعادلة بالشكل التالي :

$$N_{(kj)} = A_j \left[10^{(a_k + b_k I_o)}\right] \qquad ...(35)$$

حيث ان (A_j) تمثل مساحة القطعة (j) بالكيلومترات المربعة ،

هـ) بافتراض ان مقياس الشدة مستمر وباعتماد فترة لهذا المقياس بمقدار (٢ر٠) فأن حدود قيمة معينة للشدة (I) على هذا المقياس تكون من $(I - 0.1)$ الى $(I + 0.1)$ ، وحيث ان المعادلة اعلاه تعطينا العدد التراكمي للهزات من صفر لغاية (N) فأن عدد الهزات للشدة (I) فقط يكون :

$$N_{(kj)} = A_j \left[10^{a_k + b_k(I+0.1)} - 10^{a_k + b_k(I-0.1)}\right] \qquad ...(36)$$

و) باستعمال علاقات التوهين الخاصة بالمنطقة وبمعرفة المسافة بين القطعة (j) وموقع السد يمكننا تحديد الشدة (I_{js}) في موقع السد الناجمة عن (I_j) ، ويمكننا أن نعرف من التكرارات للقطع تكرار الهزات $N(I_s)$ للموقع ككل وتكون فترة التكرار (T_s) :

$$T_s = \frac{1}{N(I_s)} \qquad ...(37)$$

كما يمكننا اشتقاق قيمة التعجيل بموجب المعادلات الواردة في (٩ ، ١٠) من الفصل الأول ، وبهذا الاسلوب يمكن اعطاء صورة واضحة لزلزالية المنطقة المحيطة بموقع السد والتأثيرات التراكمية للمنطقة ككل على الموقع المذكور مع تكرارات الهزات ذات الشدة أو المقادير المختلفة ،

٢٠٣ دراسات الخطورة الزلزالية في العراق (Seismic Risk Studies in Iraq)

لم يتم تركيز الاهتمام على موضوع الخطورة الزلزالية في العراق الا موخرا ، حيث أظهرت المشاريع التنموية الطموحة في القطر خلال الخمس سنوات الماضية الحاجة لوضع معايير محددة تستند على الواقع الزلزالي المحيط بالعراق من أجل احتساب مستويات الخطورة الزلزالية المتوسطة أو حتى الواطئة منها ولعموم البلاد •

قبل مباشرة وحدة الرصد الزلزالي عام ١٩٨٢ بمشاريعها البحثية الموجهة لتحديد المعاملات الزلزالية الهندسية للقطر ، ومنذ منتصف السبعينات اجريت عدة أبحاث في مجال الهندسة الزلزالية كان أولها دراسة (السنوى وغالب عام ١٩٧٥) (Alsinawi and Ghalib, 1975 c) ، حيث تم تجميع أول خارطة للشدة الزلزالية من خلال دراسات أقليمية سابقة • من جهة اخرى فأن بحث (السنوى والموسوى عام ١٩٨٠) (Alsinawi and Almoosawi, 1980) وعلى الرغم من احتوائه على كثير من التناقض العلمي في الاساليب المستخدمة والنتائج المستخرجة ، الا أنه يعتبر أول خطوة جادة على طريق تقنين الخطورة الزلزالية في القطر العراقي •

هناك دراسات أحدث تبحث في تقييم خطورة الهزات الارضية في العراق باستعمال الاسلوب المحدد مع الاخذ بنظر الاعتبار فترة التكرار ، حيث تم ارتسام التوزيع الجغرافي لمخاطر الهزات الارضية (باستعمال معادلة الشدة الزلزالية) للعراق بتثبيت الهزة الارضية التصميمية والهزة الارضية القصوى الممكنة (Al-Abbasi, 1984) ،

أما فيما يخص الاسلوب الاحتمالي فهناك دراسة (محمود وعبد الرضا ١٩٨٤) (Mahmood and Al-Ridha. 1984) التي تعطي التعجيل الاقصى (المحتمل) الستة مناطق رئيسية في شمال العراق [1] هي السليمانية ودوكان ودربندخان والموصل وكوكوك وأربيل) باستخدام نموذج بواسون ضمن فترات تكرار مختلفة (وبمستوى خطورة يتراوح بين ١٠٪ ـ ٩٩٪) ولثلاثة أعمار اقتصادية للمنشات والمباني هي : عشرون وخمسون ومائة عام • ومن المفيد هنا درج أهم النتائج التي توصلا اليها الباحثان وهي مبينة في الجداول (٥) و (٦) و (٧) •

٢٠٤ تأثيرات الزلازل على السدود القائمة (Earthquake Effects on Existing Dams)

تتأثر السدود القائمة بالهزات الارضية حسب مقدارها وحسب الاسس التصميمية التي قد تم اتباعها في تصاميم هذه السدود اضافة الى تظافر العوامل الطوبوغرافية والجيولوجية لموقع السد أو الخزان •

التعجيل الارضي الاقصى المحتمل (نسبة لوحدة واحدة من التعجيل الارضي)						فترة التكرار (سنين)	مستوى الخطورة (بالمئة)
اربيل	كركوك	موصل	دربندخان	دوكان	السليمانية		
0.080	0.095	0.170	0.165	0.175	0.180	190	10
0.068	0.070	0.140	0.110	0.110	0.120	90	20
0.055	0.060	0.112	0.087	0.085	0.095	57	30
0.050	0.050	0.095	0.070	0.070	0.075	40	40
0.050	0.050	0.080	0.060	0.060	0.06[illegible]	29	50
–	–	0.065	–	0.055	0.050	22	60
–	–	0.055	–	–	–	17	70
–	–	0.050	–	–	–	13	80
–	–	–	–	–	–	9	90
–	–	–	–	–	–	7	95
–	–	–	–	–	–	5	99
–	–	–	–	–	–	4	99.5

جدول (٥) العمر الاقتصادى = ٢٠ سنة (– = أقل من 0.050)

التعجيل الارضي الاقصى المحتمل (نسبة لوحدة واحدة من التعجيل الارضي)						فترة التكرار (سنين)	مستوى الخطورة (بالمئة)
اربيل	كركوك	موصل	دربندخان	دوكان	السليمانية		
0.110	0.140	0.190	0.245	0.260	0.256	475	10
0.085	0.100	0.175	0.185	0.187	0.195	225	20
0.070	0.087	0.155	0.135	0.150	0.155	150	30
0.060	0.070	0.140	0.115	0.120	0.125	98	40
0.055	0.060	0.125	0.100	0.100	0.105	72	50
0.052	0.055	0.010	0.085	0.085	0.090	55	60
0.050	0.050	0.095	0.075	0.075	0.080	42	70
0.050	0.050	0.080	0.055	0.063	0.065	31	80
–	–	0.065	0.050	0.050	0.050	22	90
–	–	0.060	–	0.050	–	18	95
–	–	–	–	–	–	11	99
–	–	–	–	–	–	10	99.5

جدول (٦) العمر الاقتصادى = ٥٠ سنة

مستوى الخطورة (بالمئة)	فترة التكرار (سنين)	التعجيل الارضـــي الاقصـى المحتمـل (نسبة لوحـدة واحـدة من التعجيـــل الارضـي)					
		السليمانية	دوكـان	دربند خان	موصل	كوكوك	اربيـل
10	950	0.325	0.315	0.287	0.200	0.150	0.137
20	449	0.255	0.250	0.235	0.195	0.135	0.110
30	281	0.215	0.210	0.195	0.175	0.110	0.090
40	196	0.175	0.175	0.165	0.165	0.095	0.075
50	145	0.155	0.150	0.140	0.155	0.085	0.070
60	110	0.135	0.130	0.120	0.142	0.075	0.065
70	84	0.115	0.105	0.105	0.125	0.070	0.065
80	63	0.095	0.090	0.090	0.112	0.060	0.055
90	44	0.080	0.075	0.075	0.100	0.055	0.050
95	34	0.071	0.065	0.065	0.085	0.050	0.050
99	22	0.050	0.055	0.055	0.070	-	-
99.5	19	-	0.050	0.050	0.065	-	-

جدول (٧) العمـر الاقتصـادى = ١٠٠ سـنة

التعجيل الارضي الاقصى المحتمل في شمال العراق(From Mahmood & Al-Ridha,1984)

هناك عدة طرق محتملة لفشل سد ما في ضوء ما ذكرناه انفا ، ويمكن تلخيصها بما يلي :

أ) انهيار السد نتيجة لحصول فالق في الأسس ويرتبط هذا بجيولوجية الموقع.

ب) انهيار المنحدرات الجانبية للسد نتيجة للحركة الارضية ويمكن ملافاة هذا الامر في مرحلة الدراسات والتصاميم عند اجراء تحليل الاستقرارية للمنحدرات • وعلى المصمم أن يأخذ في حساباته أقصى حد ممكن للضغط المسامي (Pore Pressure) في جسم السد ، وكذلك حالة التشبع (Saturation) •

جـ) فقدان الفضاء الصافي (Free Board) وطفح مياه الخزان فوق هامة السد (Dam Crest) بسبب حصول هبوط كلي أو تفاضلي تكتوني للأسس أو للسد نفسه • وان هذا الموضوع متعلق بتصميم السد نفسه وبجيولوجية الأسس ومدى تأثرهما بالهزة التصميمية •

د) انزلاق السد على طبقة ضعيفة في الاسس نتيجة لفعل القص الناجم عن الهزة •

هـ) التآكل بسبب الرشح (Piping) من خلال التشققات والتصدعات في جسم السد والناتجة عن الحركة الارضية وقد تكون هذه التصدعات طولية أو عرضية أو بشكل ازاحات جانبية بين السد واكتافه • وبصورة عامة فأن معالجة موضوع التشققات والتصدعات سواء الناجمة عن الزلازل أو لأسباب اخرى تتم في مرحلة التصاميم باختيار مقطع عرضي مناسب للسد مكون من شرائح من المواد المتدرجة اعتباراً من اللب الأصم الى المرشحات الناعمة ثم المرشحات الخشنة وحتى القشرة الحصوية • ويكون التناسب بحجوم المواد المكونة لهذه الشرائح بحيث تساعد على اندمال التشققات والتصدعات بصورة تلقائية بما يعرف بالأندمال الذاتي (Self healing) •

و) طفح مياه الخزن فوق هامة السد نتيجة للموج الناتج عن الهزة وما ينتج عن ذلك من تأثيرات تدميرية ومن انجراف وتآكل •

ز) طفح مياه الخزان فوق هامة السد نتيجة لأنهيارات طبيعية للصخور أو انزلاق السفوح داخل الخزان ويفترض أن يكون اختيار موقع السد مبنى على دراسة مستفيضة للأحوال الطبيعية لسفوح الخزان لتلافي مثل هذا الأمر •

ح) طفح مياه الخزان فوق هامة السد نتيجة لتوقف المسيل أو المنافذ الأخرى عن العمل ويعالج هذا الموضوع باتخاذ كافة الأجراءات التصميمية لمنع مثل هذا التوقف • كما قد يتضمن اضافة مسيل للطوارئ (Emergency Spillway) ويجب عند اجراء الحسابات ملاحظة

الاثقال الاضافية فوق الانفاق والمنافذ أو المسيل وبقية المنشات التي تنجم عن الهبوط التفاضلي الحاصل بفعل الهزة .

ان الامور التي أوردناها فيما سبق يمكن ملافاتها عن طريق التخطيط الجيد والدراسات المستفيضة عند اختيار موقع السد أو شكله أو تفاصيله ويمكننا أن نوجز فيما يلي بعض الاجراءات الاحترازية اضافة الى ما سبق ذكره :

أ - تجنب الفوالق النشطة في أسس السدود عند اختيار مواقعها .

ب - جعل الفضاء الصافي بين أعلى منسوب للخزن وهامة السد كاف لتلافي أى تناقص فيه قد ينجم من ترهل السد (Slumping) نتيجة الهزة الارضية .

ج - دراسة جيولوجية الموقع بدرجة كبيرة من الدقة والتفصيل واكتشاف أية طبقة ضعيفة في الأسس . فاما أن يجرى حفرها وازالتها اذا ما كان ذلك ممكنا من الناحية الفنية والاقتصادية أو أن تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة وتحليل استقرارية المنحدرات الجانبية وقد ينجم عن ذلك جعل التساريح (Slopes) أقل انحدارا وبالتالي زيادة عرض قاعدة السد أو قد يقتضي الامر اضافة سداد اضافية في مقدم ومؤخر السد (Toe Berms) تعمل كأثقال اضافية لزيادة الاستقرارية والحصول على معاملات الامان المطلوبة .

د - يقتضي فحص المنحدرات الطبيعية والسفوح المجاورة للخزان والتأكد من استقراريتها واستبعاد حصول حركة فيها عند املاء وتفريغ الخزان خاصة اذا ما كانت زلزالية المنطقة نشطة ويتم التركيز على دراسة الطبقات والتكوينات الصخرية ذات الانحدار (Dip) المتجه نحو الخزان .

هـ - عند دراسة الاستقرارية للسد ومنشاته يجب تدقيق الاجهادات والمطاوعة النسبية بحيث تؤخذ كافة العوامل والمؤثرات الديناميكية والاحمال الاضافية الناتجة عن الحركة الزلزالية بنظر الاعتبار .

و - تجنب استعمال المواد الناعمة جدا (كالرمل الناعم أو الطمى) في اجزاء السد خاصة اذا ماكانت منتظمة التدرج (أى معظمها ذات حجم حبيبي واحد) ، حيث قد تتعرض مثل هذه المواد للتمييع (Liquefaction) في حالة حصول هزات أرضية اذا ماكانت واقعة في مناطق من السد معرضة للتشبع .

ز - استعمال طرق السيطرة النوعية الحديثة في الدفن المرصوص (Compacted Fill) ، وذلك بقصد الاستفادة من مقاومة هذه المواد للقص ولاكبر درجة ممكنة مع ملاحظة السيطرة الجيدة

على نسبة الماء في هذا الدفن وتلاقي حصول ضغط مسامي عـال ، حيث ان ذلك يقلـل من مقاومة قوى القص الناتجة عن الاهتزازات الارضيـة •

هذا وسوف نورد لاحقا بعض الامثلة لاضرار وقعت لسدود تعرضت لهزات أرضية ، حيث كان الضرر مرتبطا بأحد الامور التي شرحناها • كما سنورد أيضا ذكر حالات اخرى لم تعان فيه سدود أية أضرار بسبب ملاحظة القضايا أعلاه واعطائها حقها من الدراسة ووضع الحلول لهـا سواء في طـور الدراسات أو عند التنفيـذ •

٢٠٥ أمثلة عن تأثيرات الزلازل على السدود الركامية (Examples of Earthquake Effects on Embankment Dams)

سبق وبينا بأن ملاحظة تأثيرات الزلازل على السدود القائمة ودراسة الاضرار التي تحصل فيها يعملان على اغناء التجربة المتوفرة في هذا الحقل ويؤديان الى تطوير طرق التحليل والتصميم لملاقاة تأثيرات الزلازل التدميرية • وهناك العديد من الحالات التي قد تم تسجيلها ودراستها نلخصها بالجدولين التاليين :

جدول رقم (٨) خلاصة بالسدود التي تمت دراسة تأثيرات الزلازل عليها

اسم السد ، موقعه وسنة انشائه	الوصف العام	المواد المستعملة
سد أوغستا Augusta شمال شرق أوغستا بولاية جورجيا الامريكية •	لتوليد الطاقة الكهربائية ، يقع على أحد فروع نهر سافانا •	سد ركامي ترابي ذو أسس مكونة من طبقة خفيفة من التربة الرخوة المغطية لطبقة صخرية صلدة •
سد سان اندرياس San Andreas جنوب شرق سان فرانسيسكو ١٨٧٥ •	ارتفاعه (٩٧) قدم ، هامته بعرض (٢٥) قدم • ميل المنحدر الامامي (٣ر٥ : ١) من جزئين الاول بطول (٧٠٥) قدم والثاني بطول (١٩٢) قدم ويفصل بين الجزئين مرتفع طبيعي •	يميل لون التربة المستعملة بالدفن الى الزرقة نتيجة وجود بقايا معدن السيربنتايت • تتكون أسسه من طبقات متتالية من الرمل والطين والحصى بعمق قدره (٤٦) قدم حتى الوصول الى الطبقة الصخرية للسد • لب طيني في الوسط يمتد في جسم السد وللاسفل حتى الطبقة الصخرية •

تتمة جدول رقم (٨) :

المواد المستعملة	الوصف العام	اسم السد ، موقعه وسنة انشائه
سد ترابي ركامي ذو لب طيني يمتد في الاساس المتكون من الطين الازرق القليل النفاذية والحصى .	ارتفاعه (٩٠) قدم ، مستوى المياه متساوى في المقدم والمؤخر وذلك لانشاء سد اخر في مؤخره .	سد كرستال سبرنكز الاعلى Upper Crystal Springs جنوب سان فرنسيسكو ١٨٧٧
ترابي ركامي .	طول هامة السد (١٨٠) قدم ذو مسيل عرضه (٥١) قدم مشيد من الطابوق غاطس بكاملة خلف سد اخر .	سد سان اندرياس القديم Old San Andreas جنوب سان فرنسيسكو ١٨٧٥
ترابي ركامي .	يتكون من سدين صغيرين يغلقان النهايتين المنخفضتين لسرج طبيعي (Saddle) وقد كان الخزان مملوء عند حصول الهزة .	سد ساراتوغا Saratoga قرب ساراتوغا ، كاليفورنيا
سد ركامي ترابي ، دفن بفرشات خفيفة تم رشها وحدلها .	خربته الهزة عند الانتهاء من انشائه وكان الخزان مملوء . مقدم السد مبطن بالكونكريت بسمك (٦) أنج	سد بايد مونت رقم (٢) Piedmont No. 2 شمال شرق اوكلاند كاليفورنيا ١٩٠٦
سد ركامي ذو لب طيني تعود صخور الاسس الى عصر الباليوزويك .	ارتفاعه (١٢١) قدم وطول هامته (٨٥٠) قدم .	سد أونو Ono (٦٠) ميل غرب طوكيو ١٩١٤

تتمة الجدول رقم (٨):

اسم السد ، موقعه وسنة انشائه	الوصف العام	المواد المستعملة
سد اسالة الماء لمدينة طوكيو Tokyo Water Supply (١٥) ميل غرب طوكيو ١٩٢٣	ارتفاعه (٧٩) قدم وسعة الخزان (١٨ر٤) طيون مترمكعب .	سد ركامي ترابي تم انشاؤه بفرشات ترابية سمك (٦) أنسج أصبحت بعد الحدل (٤) أنسج ويتكون اللب من الطين والحصى .
سد مورایاما الاعلى Upper Murayama (١٢) ميل غرب طوكيو .	خربته الهزة حال الانتهاء من انشاؤه وقد كان الخزان فارغ .	سد ركامي ترابي
سد مورایاما الاسفل Lower Murayama (١٢) ميل غرب طوكيو ١٩٢٣ ــ ١٩٢٤	خربته الهزة وهو قيد الانشاء وكان ارتفاعه (٥٢) قدم وهو مصمم لارتفاع (٩٨) قدم وطول هامته (١٩٢٠) قدم وقد كان الخزان فارغ .	سد ركامي ترابي ذو لب ، أسسه ذات تكوينات تعود للحقبة الثلاثية
سد شيفيلد Sheffield شمال سانتابارباره كاليفورنيا ١٩١٧	ارتفاعه (٣٠) قدم وعرض هامته (٢٥) قدم وبطول (٧٢٠) قدم منحدره الامامي يميل (٥ر٢ : ١) وكذلك منحدره الخلفي . عمق الماء في الخزان (٢٠) قدم .	مبنى بالجوف الهيد روليكي وربما كانت الاملائيات مشبعة بصورة جزئية عند حصول الهزة ذو أسس مكونة من تربة رسوبية بشكل جلاميد تغطي الصخور الرطبة .

تتمة الجدول رقم (٨) :

اسم السد ، وموقعه وسنة انشائه	الوصـف العام	المواد المستعملـــة
سد كوجـــوتي Cogote شيلي ١٩٣٨	ارتفاعه (٢٤٦) قدم • ميل المنحدر الامامـي (٦ر١ : ١) وميــل المنحدر الخلفـي (٨ر١ : ١) قد اخذت الهزات الارضيـــة بنظر الاعتبار عنـــد تصميمه •	سد ركامي حجري ذو وجه امامـي غير نفاذ ومرن •
سد اوتانيك Otaniike في جزيرة شيكوكو ، اليابان ١٩٢٠•	ارتفاعه (٦٩) قـــدم وهامته (٢٤) قـــدم ميل منحدره الامامـي (٤ : ١) وميل منحـــدره الخلفي (٣ : ١) عمـــق المياه فيه (٤٩) قدم •	سد ركامي ترابي ذو لب اصـــم وتتكون أسسه من الصخـور الرطبة •
سد يوبـــــا Yuba شرق مدينة نيفادا ، كاليفورنيا ١٩١٠ـ١٩٤٩•	ارتفاعه (٢٥) قدم طول هامته (٨٨٠) قـــدم وعرضها (١٢) قـــدم المنحدر الامامي بميـل (٥ر٢ / ١) أما الخلفـي فهو بميل (٧٥ر١ : ١) • وقد تمت زيادة ارتفاعه ومنحدره الخلفي فـي (١٩٤٩) خربته الهزة وكان مملوءاً بالماء •	ان الجزء المنفذ سنة ١٩١٠ مكون من مواد ترابية مشتقة من تراكيـب نارية مسامية وقد تم رص الجـزء المنفذ سنة ١٩٤٩ وكان أقـــل نفاذية ويشتبه بحصول ضغـــط مسامي عال في الجزء القديـــم أسســه طينيـــة •
سد بيونا فستا Buena Vista جنوب غرب بيكرسفيلد كاليفورنيا ١٨٩٠ـ١٩٢٧	ارتفاعه (١٧) قدم وطول هامته (٥) أميـــال •	سد ترابي ركامي • أضيف لب طيني لجزء من طوله سنة ١٩٢٧ تحتوى أسسه على تربة جبسية وفجوات •

تتمة الجدول رقم (٨) :

اسم السد ، وموقعه وسنة انشائه	الوصف العام	المواد المستعملة
سد دراى كانيون Dry Canyon شمال سوكوز ، كاليفورنيا ١٩١٢ .	ارتفاعه (٦٤) قدم طول هامته (٥٦٠) قدم وعرضها (٢٠) قدم منحدرة الامامي (٢ر٥ : ١) أما الخلفي فهو (٢ر٢ : ١) .	منفذ بالجرف الهيدروليكي
سد جنوب هاى وى South Haiwee يقع جنوب بحيرة اوينز كاليفورنيا ، ١٩١٢ .	ارتفاعه (٩٠) قدم وطول هامته (١٥٠٠) قدم .	منفذ بالجرف الهيدروليكي
سد هيبغن Hebgen شمال شرق ويلستون مونتانا ، ١٩١٣ .	ارتفاعه (٨٦) قدم طول هامته (٧٢١) قدم وعرضها (٢٠) قدم ميل منحدره الامامي (٣ : ١) ومنحدره الخلفي (٢ر٥ : ١) ذو لب كونكريتي يمتد حتى الاساس الصخرى .	سد ركامي ترابي ذو لب كونكريتي يقع الجزء الشمالي منه فوق انزلاق ارضي قديم وقد طفحت المياه فوق هامته عند حصول الهزة .
سد سان فرناندو الاسفل Lower San Fernando شمال سان فرنسيسكو ١٩١٦ ، ١٩٤٠ .	ارتفاع الجزء المنجز في (١٩١٦)هو (١٠٠) قدم وقدتم رفعه الى (١٤٠) قدم سنة (١٩٤٠) عرض الهامة (٢٠) قدم وطولها (٢١٨٠) قدم ، ميل المنحدر الامامي (٢ر٥ : ١) أما الخلفي فهو (٢ر٥ : ١) في الاعلى ويصبح (٤ر٥ : ١) في	الجزء الاول من السد منفذ بالجرف الهيدروليكي . اما الجزء الثاني فهو ركامي ترابي مرصوص أسسه مكونة من طبقة من الرمل والطين الصلب بعمق (٣٥) قدم فوق طبقة من الصخور الرخوة .

جدول رقم (٩)

الاضرار الناجمة عن الهزات في السدود المذكورة في جدول رقم (٨)

اسم السد ، تاريخ الهزة وشدتها على مقياس ميركالي المعدل	الاضرار
سد اوغستا Augusta ١٨٨٦ ، ٨ درجات	عدد من التصدعات الكبيرة الطولية ٠ وقد ازداد عرض هذه التصدعات نتيجة للتاكل والانجراف ٠ وقد أدى انهيار السد الى فيضان كبير في حوض النهر ٠
سد سان اندرياس San Andreas ١٩٠٦ ، ١٠ درجات	حدثت ازاحة عرضية وافقية بمقدار ٧ أقدام في الفالق في الاسس وتشقق سطح الارض ٠ وقد أدى ذلك الى قطع وتدمير النفق في منطقة التشقق وتدمير برج المأخذ ٠ كما حصلت بعض التصدعات الصغيرة في الهامة وتصدعات على الجانبين في الاكتاف باتجاه عمودي على محور الهامة ٠
سد كريستال سبرنكز الاعلى Upper Crystal Springs ١٩٠٦ ، ٩ درجات	حصلت ازاحة افقية في الفالق في النهاية الشرقية من السد ، حيث ارتفاع السد (٢٠) قدم ٠ وقد أدى ذلك الى تدمير النفق المبطن بالاجر وبطول (٢٠) قدم ٠ كما تقلص طول السد ٠
سد سان اندرياس القديم Old San Andreas ١٩٠٦ ، ١٠ درجات	حصلت ازاحة عرضية افقية في الفالق ٠ مع حصول صدع بحوض (٢٠) أنج في المسيل ٠
سد ساراتوكا Saratoga ١٩٠٦ ، ٩ درجات	ادت حركة الفالق الى تصدع السدين المكونين له بصورة عرضية وحصلت تصدعات طولية في السد الشمالي وهبوط في المنحدر الامامي له ٠ وقد تدفقت مياه الخزان نتيجة لتكسر المخرج الانبوبي الموجود في السد الجنوبي وكان مصنوعا من الحديد الزهر وبقطر (١٠) أنجات ٠ وقد نتج عن ذلك تاكل المنحدر الامامي له ٠

تتمة الجدول رقم (٩) :

اسم السد ، تاريخ الهزة وشدتها على مقياس ميركالي المعدل	الاضـــــــرار
سد بايد مونت الثانـــــي Piedmont No. 2 ١٩٠٦ ، ٧ درجات	حصل هبوط فيه بمقدار (٦) أنجات ، وذلك في جزئــه الوسطي • كما حصلت بعض التصدعات الصغيرة عرضيا وطوليا عند احدى نهايتي السد • ولم يتضرر الوجه الكونكريتي للسد •
سد أونو Ono ١٩٢٣ ، ٨ درجات	تصدع المنحدر الامامي والخلفي طوليا • كما حصل صدع كبير قرب الكتف الايسر • وقد كان أكبر التصدعات بعرض (٨) انجات وعمق (٣٠) قدم على المنحدر الخلفي • أما أقصى هبوط فقــد كان (٨) أنجـــات •
سد اسالة الماء لمدينة طوكيــو Tokyo Water Supply ١٩٢٣ ، ٨ درجات	حصول هبوط في السد بمقدار (٨) أنجــــــات •
سد موراياـــــما الاعلـــى Upper Murayama ١٩٢٣ ، ٨ درجات	هبطت هامة السد بمقدار (٨) أنجات • كما حصل ترهــل (Slumping) في المنحدرين الامامي والخلفي • ولــم تحــدث أي تصدعـــــات •
سد مورایاما الاسفــــــل Lower Murayama ١٩٢٣ ، ٨ درجات	حصلت ثلاثة تصدعات طولية قرب الهامة كما حصل بعض التاكل والانجراف في الضفاف • وقد كان أكبر التصدعات بطول (٢٢٠) قــدم وبعمق (٣٠) قــدم •
سد شيفلد Sheffield ١٩٢٥ ، ٨ درجات	انزلاق في المنحدر الخلفي للسد وبلغ طول الكتلة المنزلقــة (٣٠٠) قدم • وقد تحركت مسافة (١٠٠) قدم باتجاه مجــرى النهر كما تدفقت المياه وأدى ذلك الى تفريغ الخزان •
سد كوكوتي Cogoti ١٩٤٣ ، ٨ ــ ٩ درجـــات	هبط السد بمقدار (٥ر١٢) أنج للفترة منذ انشائه ولغايــة حصول الهزة ، ثم هبط (١٥) أنج اخرى بسبب الهزة •

تتمة جدول رقم (٩) :

اسم السد ، تاريخ الهزة وشدتها على مقياس ميركالي المعـــدل	الاضـــــــرار
سد اوتانيك Otanike ١٩٤٦ ، ٦ درجات	حصل صدع طولي بمقدار (٢٥٠) قدم في هامة السد مـــع وقوع تصدعات اخرى في المقدم بموازاة الهامة ٠ كما تضـــررت المنافذ في قاعدة السد وفي الكتف الايســـــر ٠
سد يوبـــا Yuba ١٩٥١ ، ٦ درجات	وقع انزلاق في المنحدر الخلفي ولمسافة (٧٥) قدم وقد امتــد الانزلاق مسافة (٣٥) قدم موًخـر حافـة السد السفلى ٠
سد بيونا فستـــــا Buena Vista ١٩٥٢ ، ٧ ـ ١٠ درجات	وقع هبوط بمقدار (٢ر٢) قدم وعلى طول (١٠٠) قدم مـــن السد مع ظهور صدع طولي في الهامة بطول (٢٢٠٠) قـــدم وكذلك تسريت المياه من الطرف الجنوبي للســــد ٠
سد دراي كـــانيـــون Dry Canyon ١٩٥٢ ، ٧ درجات	حصلت تصدعات طولية في الجزء الاكبر من الهامة وعلى مسافـــة (٥) أقدام من حافتها الخلفية ٠ ولقد امتدت التصدعات خـلال اللب الهيدروليكي (Hydraulic Core) وبصــــورة منحنية نحو الاسفل باتجاه الخزان ٠ كما هبطت الهامـــة (٨ر٠) قدم وتحركت بازاحة قدرها (٢١ر٠) قدم باتجـــاه الخزان ، اضافة الى انفتاح بعض التصدعات القديمة في وجــه السد الكونكريتـي ٠
سد جنوب هاى وى South Haiwee ١٩٥٢ ، ٦ درجات	تصدعات طولية في الهامة قرب المقدم وفي الوسط وبطول (٢٥٠) قدم ٠ وكان شكل التصدعات منحني وبمستوى افقي ٠ والانحناء المقعـر باتجـاه موًخـر الســد ٠

تتمة جدول رقم (٩) :

اسم السد ، تاريخ الهزة وشدتها على مقياس ميركالي المعدل	اضـــــرار
سد هيبغن Hebgen ١٩٥٩ ، ٧ ـ ٩ درجات	هبط السد بمقدار (٤) أقدام على جانبي حائط اللب الكونكريتي مع حصول ازاحة في هذا اللب تتراوح بين (صفر) و (١) قدم أفقيا وعموديا • كما حصلت تصدعات طولية على الهامة قرب الاكتاف • وتدمر المسيل نتيجة الارتجاج والانجراف • كما تآكل جزء من المنحدر الخلفي للسد • هذا وقد كان هناك ازاحة عمودية في الفالق بمقدار (١٥) قدم وعلى مسافة (٥٠٠) من الكتف الشمالي •
سد سان فيرناندو الاسفل Lower San Fernando ١٩٧١ ، ٨ ـ ٩ درجات	حصل انزلاق كبير في المنحدر الامامي وقد شمل معظم عرض الهامة وبعمق (٣٠) قدم • ولحسن الحظ كان سطح الماء في الخزان وقت الهزة (٣٥) قدم تحت الهامة مما أدى الى بقاء (٥) أقدام فقط من الفضاء الصافي •

مما ورد في الجدولين السابقين يمكننا تشخيص عدد من ملاحظات الفشل والتي كانت بسبب الازاحة في فالق يمر بالاسس أو قريبا منها • كما هو الحال بالنسبة لسدى كريستال سبرنكز الاعلى وسان اندرياس القديم ، حيث يقطع فالق سان اندرياس الشهير في سان فرنسيسكو أسس هذين السدين عرضيا • وقد سجلت ازاحة جانبية في الفالق المذكور بمقدار (٨) أقدام في هزة (١٩٠٦) كما تعرض سد ساراتوغا المكون من سدين لنفس الهزة مما أدى الى انهيار أحد السدين بصورة جزئية وبالتالي تدفقت المياه المخزونة فيه • أما ما حصل لسد هيبغن في ولاية مونتانا الامريكية فقد مر الفالق قرب موقع السد وليس خلاله في هزة (١٩٥٨) ، حيث أدت الهزة المذكورة التي بلغ مقدارها (٦ و ٧) درجات على مقياس ريختر الى حصول هبوط كلي في السد • وقد تضافرت جملة امور لانقاذ هذا السد من التدمير الشامل • فعلى الرغم من ان الهبوط التفاضلي بين السد وقعر الخزان كان (٤) أقدام الا أن السد نفسه والقعر قد هبطا معا مسافة (١٠) أقدام ولولا هبوطهما معا لطغت المياه على السد بصورة كلية •

كما نرى من الجدولين السابقين حالتين لانهيار كامل لسدين • الاول هو سد شيفلد قرب سانتا باربره ـ كاليفورنيا في هزة ١٩٢٥ والثاني سد أوغستا في هزة ١٨٨٦ • فبالنسبة لسد شيفلد

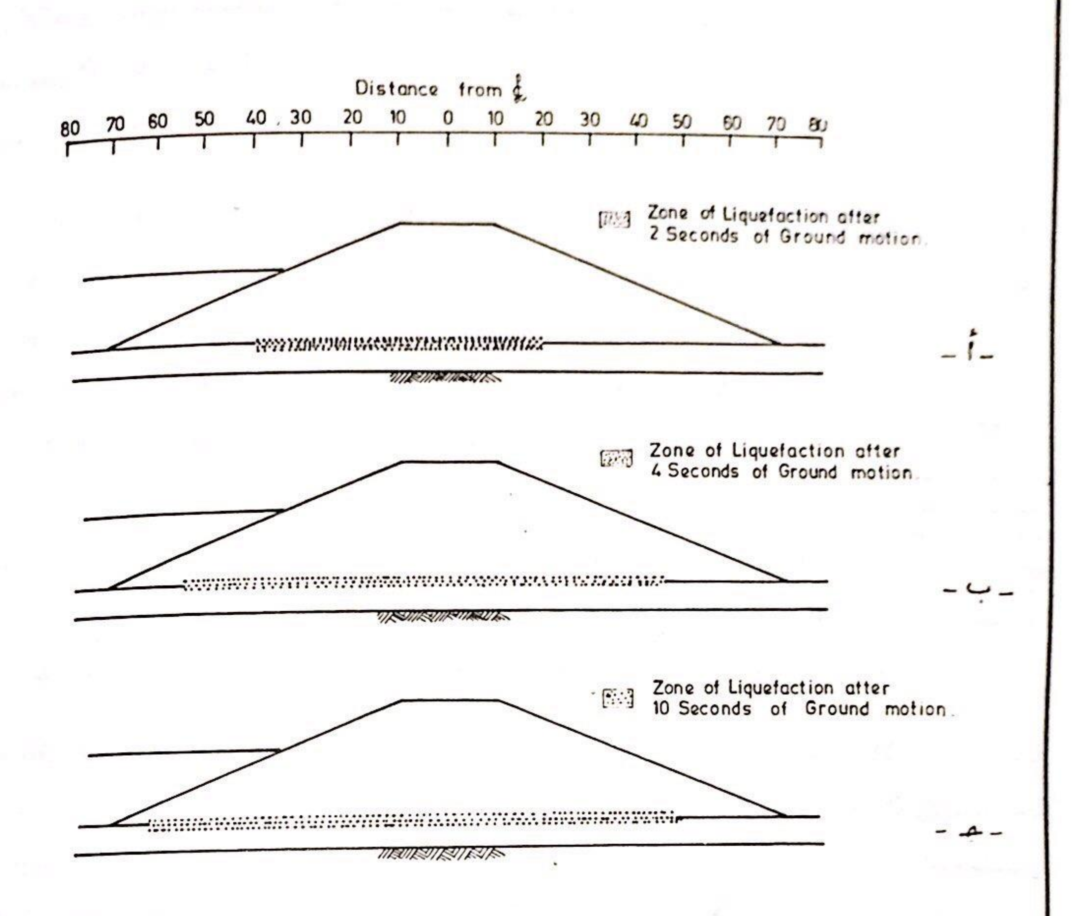
انهار جزء منه وتدفقت المياه المخزونة ويعتقد بأن مياه الرشح كانت العامل الرئيس في هذا الفشل وقد أدت الى تشبع الاجزاء السفلى مما أدى الى انزلاق كتلة كبيرة نتيجة للهزة من المنحدر الخلفي ثم انجرافها وتآكلها بواسطة المياه المتدفقة . وقد اجريت سنة (١٩٤٩) دراسة مستفيضة على هذا الفشل لغرض تقييم التصميم الاصلي وقد قدرت خواص الهزة كالاتي :-

- أقصى تعجيل للحركة الارضية = ١٥ر٠ من التعجيل الارضي
- فترة الارتجاج = ١٥ ـ ١٨ ثانية
- تكرار تغيير اتجاه التعجيل = ٣ دورات في الثانية

ولقد بينت الدراسة وتحليل الاجهادات (الطريقة الديناميكية) بأن السبب الرئيس للفشل قد يكون تميع المواد المكونة للسد (Liquefaction) ، وذلك في قاعدته فبعد ثانيتين قد يكون بدء الارتجاج تميع الجزء المبين في الشكل (٩ أ) والممتد من مسافة (٢٠) قدم مؤخر الخط الوسطي للسد الى مسافة (٤٠) قدم مقدم الخط الوسطي له . وقد تقدم التمييع باتجاه المقدم خلال هذه الفترة بسرعة تفوق سرعة تقدمه نحو المؤخر . ثم انعكست الوضعية بعد ذلك كما مبين في الشكل (٩ ب) ، ويعود السبب في ذلك الى ان ضغط عمود الماء في المقدم يعطي مقاومة أكبر للتربة ، ونلاحظ بعد (١٠) ثوان من الارتجاج كما في الشكل (٩ جـ) بأن الجزء المتميع قد وصل لمسافة حوالي (١٠) أقدام من مؤخر قاعدة السد . وبالنظر لان مقاومة التربة للانزلاق في هذا الجزء هي أقل كما بينا ، لذا فقد حصل الانزلاق في مؤخر السد وبموجب الوضعية التي تم شرحها .

أما انهيار سد أوغستا فقد كان نتيجة لتصدعه بصورة عرضية ثم انسياب المياه وتدفقها التدريجي من خلال هذه التصدعات مما أدى الى التآكل الكامل للسد وانهياره التام . ولو ركزنا الاهتمام على موضوع التصدع فأننا نرى بأن كافة السدود المتضررة بالزلازل قد تصدعت وخاصة في الهامة (Crest) ، حيث ظهرت هذه الصدوع جلية في سد أونو (Ono) وسد موراياما الاسفل في هزة (١٩٢٣) في اليابان ، وكذلك سد اوتانيك في هزة (١٩٤٦) في اليابان أيضا . وقد كان شكل التصدعات طوليا وقوسيا في الجزء الوسطي من السد في حالتين لسدين نفذا بطريقة الجوف الهيدروليكي . ففي هزة (١٩٥٢) التي ضربت مقاطعة كيرن (كاليفورنيا) بينت حفر التحريات (Investigation Pits) بأن هذه التصدعات كانت قد امتدت الى اللب الاصم وبشكل اقواس في المستوى الشاقولي وباتجاه الخزان ، وذلك في سد دراي كانيون بينما كانت في مستوى أفقي في سد ساوث هاي وي (South Haiwee) وكان تحدب الاقواس باتجاه المقدم . ويمكننا ان نذكر في هذا المجال بأن السدود الاكثر تضررا بالتصدع أو الهبوط كانت سدودا أستعملت في دفنها ورصها طرقا بدائية .

ان هزة كيرن (١٩٥٢) سببت اضرارا كبيرة للسدود غير المحدولة التي تراوحت ارتفاعاتها بين (٥) أقدام الى (١٢) قدم وكانت مستعملة لخزن مياه الري . ولوحظ في هذه الهزة بالسدات



شكل (١٠) - دراسة فشل سد شيفيلد نتيجة للتميع

بأن أغلب الاضرار كانت بشكل تصدعات طولية على هامات هذه السدود وترهل (Slumping) في المنحدرات الجانبية اضافة الى هبوط السدود المذكورة •

لقد وفرت هذه الهزة فرصة جيدة لتقييم أهمية الدفن المرصوص بالطرق الميكانيكية الحديثة ، حيث نرى أن سد تيجون رانش (Tejon Ranch) الذى استخدمت فيه طرق السيطرة النوعية الحديثة في الرص لم يصاب بأية اضرار ، بينما تعرض سد بيونافستا (Buena Vista) الى اضرار بليغة على الرغم من كونه أكثر بعدا عن السد الاول من بؤرة الزلزال • كذلك نرى عدم تضرر سد بوكيه كانيون (Bouquet Canyon) ، بينما تضرر سد دراى كانيون (Dry Canyon) كما سبق وذكرنا على الرغم من تساوى البعد البؤرى لكلا السدين • ولقد كان البعد البؤرى لسد بيونا فستا قليل للغاية ، بينما كان البعد البؤرى لسد دراى كانيون (٦٠) ميلا وسجلت في موقعه شدة قدرها (٧) درجات على مقياس ميركالي المعدل • أما سد هاى وى فقد كان بعده البؤرى (٦٠) ميلا أيضا • والشدة المسجلة في موقعه (٥) درجات على نفس المقياس • هذا وكان هناك (٦) سدود اخرى لم تتضرر واقعة ضمن دائرة نصف قطرها (٦٠) ميلا من بؤرة الهزة • وهذه الحالة تشابه من كافة الوجوه لما حصل في هزة سان فرنسيسكو (١٩٠٦) ، حيث تعرضت (٤) سدود للاضرار ، بينما سلمت كل من سدود بلاركتوز (Pilarcitos) وبيركلش (Bear Gulch) وبايدمونت الاول (Peidmont No. 1) وليك فراى (Lake Frey) وسان ليندرو (San Leandro) على الرغم من معاناة هذه السدود لنفس الارتجاج •

أما هبوط السدود فيعزى بالاضافة الى عدم كفاءة الدفن للاملائيات الى رداءة الاسس أيضا • ففي حالة سد هيبخن والذى هبط تفاضليا بمقدار (٤) أقدام نسبة للخزان كان نصف طول السد واقعا فوق انزلاق أرضي قديم • كما أن هبوط سد بيونا فستا البالغ قدمين في هزة (١٩٥٢) ، سببته طبيعة صخور الاسس الجبسية ووجود تجاويف فيها نجمت عن وشح المياه •

لقد أورد كاواسومي (١٩٥٤) (Kawasumi, 1954) احصائية عن الاضرار التي نجمت عن هزة أوكا (Oga-1939) والتي خربت (٥٣) سدا ركاميا واصابت المنطقة الواقعة شمال غرب جزيرة هونشو اليابانية مقابل مدينة سينداى محدثة تدمير (٦٠٤) منزل ومسببة (٣٩) وفاة ، وكان مقدارها (٦ر٦) درجة على مقياس ريختر • ونلاحظ من الجدول رقم (١٠) بأن عدد حالات الضرر يزيد عن (٥٣) سدا بمعنى أن أكثر من ضرر واحد قد أصاب السد الواحد •

هذا وتجدر الاشارة الى ماتعرض اليه احد السدود الكبيرة من هزات ارضية ومقاومته لها بنجاح وبدون اضرار تذكر • فلقد خربت هزة أرضية بمقدار (٧ر٥) درجات على مقياس ريختر سد اورفيل (Oroville Dam) وكان بعدها البؤرى من السد لا يتجاوز (٧) كيلومترات الى الجنوب منه •

يبلغ ارتفاع سد اوروفيل (٧٧٠) قدما وهو أعلى سد ركامي ترابي في الولايات المتحدة ويتكون من لب طيني مستند على وسادة كونكريتية (انظر الشكل رقم ١٠) • وهو مزود بعرشحات متدرجة من الرمل والحصى ثم القشرة • يبلغ منسوب هامته (١٩٢٢) قدم وكان منسوب الخزان عند حصول الهزة حوالي (٨٨١) قدم • أماطول الهامة فيبلغ (٦٩٢٠) قدما •

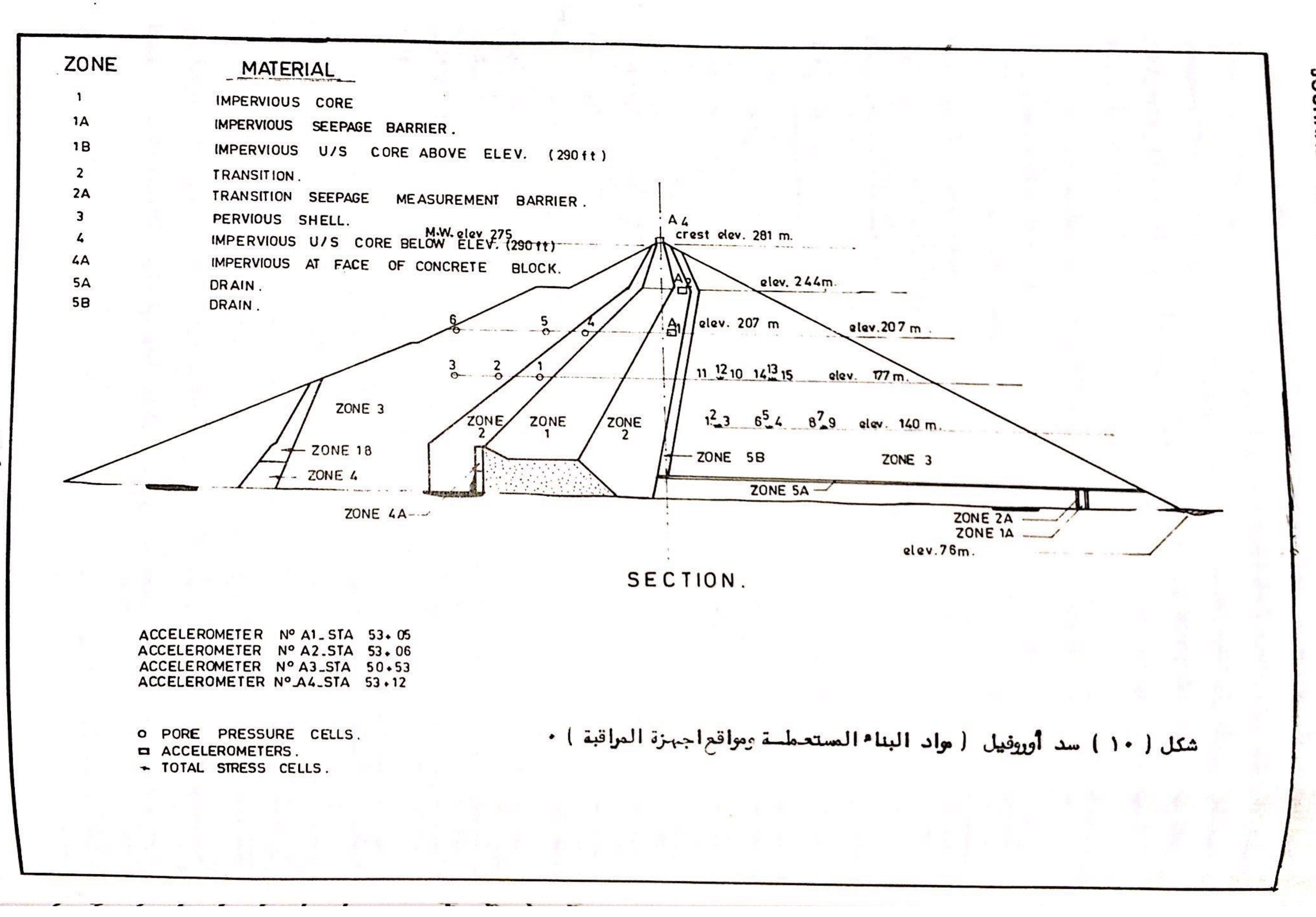
جدول رقم (١٠)

الاضرار التي أصابت السدود في هزة أوكسار ١٩٣٩

نوع الضرر	عدد الحالات
تصدعات موازية لاتجاه الهامة	٤٣
تصدعات عمودية على اتجاه الهامة	٥
انهيارات كاملة (ولم تشخص ميكانيكية الانهيار)	٧
ترهل المنحدرات الامامية والخلفية وبدون حصول تصدعات	١
ترهل المنحدرات الامامية والخلفية مع تصدعات في المقدم	١٧
ترهل المنحدرات الامامية والخلفية مع تصدعات في المؤخر	٦
ترهل المنحدرات الامامية والخلفية مع تصدعات في المقدم والمؤخر	٨
تصدعات وبدون ترهل المنحدرات الجانبية	١٦

لقد تلخصت وضعية الهزات بحصول خمس من الهزات الثانوية (Foreshock) ابتداء من الثامن والعشرين من حزيران ١٩٧٥ وكان أكبرها مقدارا (٨ و ٣) درجات على مقياس ريختر ثم تلت ذلك فترة من الهدوء اعقبها وقوع (٢٩) هزة كان أكبرها مقدارا (٨ر٤) درجات على مقياس ريختر وقبل بضعة ساعات من وقوع الهزة الرئيسية المشار اليها اعلاه • ثم تلى الهزة الرئيسية وقوع (١٥٨) هزة ثانوية (Aftershock) تراوحت مقاديرها بين (٥ر٢) درجة ولغاية (٤) درجات •

لقد تم تشييد سد أوروفيل وفقا لأفضل وأدق المواصفات وتم اتباع كافة الطرق الحديثة في ذلك كما زوع عددا كبيرا من اجهزة الاستشعار فيه لقياس الازاحات الافقية والعمودية والهبوط والضغط المسامي اضافة الى اجهزة قياس الزلازل • وبذلك أمكن الحصول على صورة واضحة جدا عن تأثيرات هذه الهزات على السد فقد حصلت ازاحات جانبية داخل جسم السد بلغ اقصاها (١ر٠) قدم كما هبطت الهامة بمقدار اقصاه (٣ ر٠) قدم وحصلت فيها ازاحة جانبية لاتتعدى (٥ ر٠) قدم نحو المقدم • كما ازداد الضغط المسامي في اللب بحدود (٥٤) قدم من المياه وهو بذلك لم يتعد أعلى ضغط مسامي سبق تسجيله في جسم السد عند امتلاء الخزان • ولم يتغير شكل الرشح وبقي بحدود (١٤) غالون بالدقيقة • الا أن مياه الرشح الى داخل رواق التحشية ازداد تصريفها من (٨٠) غالون الى



شكل (١٠) سد أوروفيل (مواد البناء المستعملة ومواقع اجهزة المراقبة) .

(٩١) غالون بالدقيقة •

ان أعلى تعجيل تم تسجيله في قاعدة السد بسبب الهزة كان (٩ ر ٠) من التعجيل الارضي باتجاه من المقدم نحو مؤخر السد بينما تم تسجيل تعجيل افقي عمودي على المجرى النهري بحدود (٣ ر ٠) من التعجيل الارضي • أما اقصى تعجيل افقي مسجل عند الهامة فكان (٣ ر ٠) من التعجيل الارضي أيضا •

لقد تم تصميم السد بأخذ الهزات الارضية بنظر الاعتبار • وقد قاوم الهزات بموجب ما متوقع كما جرت عملية لتقييم التصميم مرة اخرى بعد وقوع الهزة أعلاه وبافتراض أقصى هزة أرضية ممكنة (M.CE) بقوة (٥ر٦) درجات على مقياس ريختر واستعمال أقصى تعجيل بمقدار (٦ ر ٠) من التعجيل الارضي وقد أجرت عملية التقييم جامعة كاليفورنيا في بيركلي • وقد اثبت كل ذلك امكانية تلافي وقوع اضرار للسدود اذا ما تم تقييم احتمالات وقوع الهزات ومقدارها بصورة صحيحة اذا ما اتخذت الاجراءات اللازمة في التصاميم •

٢٠٦ التمييع (Liquefaction) :-

التمييع هي ظاهرة حركة وانسياب الطبقات الرطبة الناعمة أو طبقات الطمى غير المرصوصة (Loose) والمشبعة (Saturated) والداخلة في تركيب منحدر طبيعي أو في أسس سد ما وكأنها سائل ثقيل ولزج • وتقع هذه الظاهرة عندما تسبب الاجهادات المسلطة على مثل هذه الطبقات تقلص في حجمها • وبالنظر لحالة التشبع التي ذكرناها تنتقل الاجهادات من الدقائق الصلبة المكونة للهيكل الصلب للمادة الى الماء المسامي (Pore Water) ونتيجة لطبيعة القوى المسلطة على التربة فقد تمر لحظات يكون وزن طبقات التربة منقولا وبصورة تامة الى الماء المسامي • وهذا يعني تقليل مقاومة التربة للقص في هذه اللحظات وتساوى المقاومة هذه مع مقاومة الماء نفسه للقص وهي مقاومة منخفضة للغاية • وهذا بدوره يؤدى الى انسياب المادة نفسها نحو الاسفل متأثرة بقوى الجاذبية الارضية سواء كانت الطبقة واقعة في منحدر طبيعي أو في منحدر سد ركامي أو في أسسه • وتسمى مثل هذه الحالة والناتجة عن التميع بانزلاق التدفق (Flow Slide) •

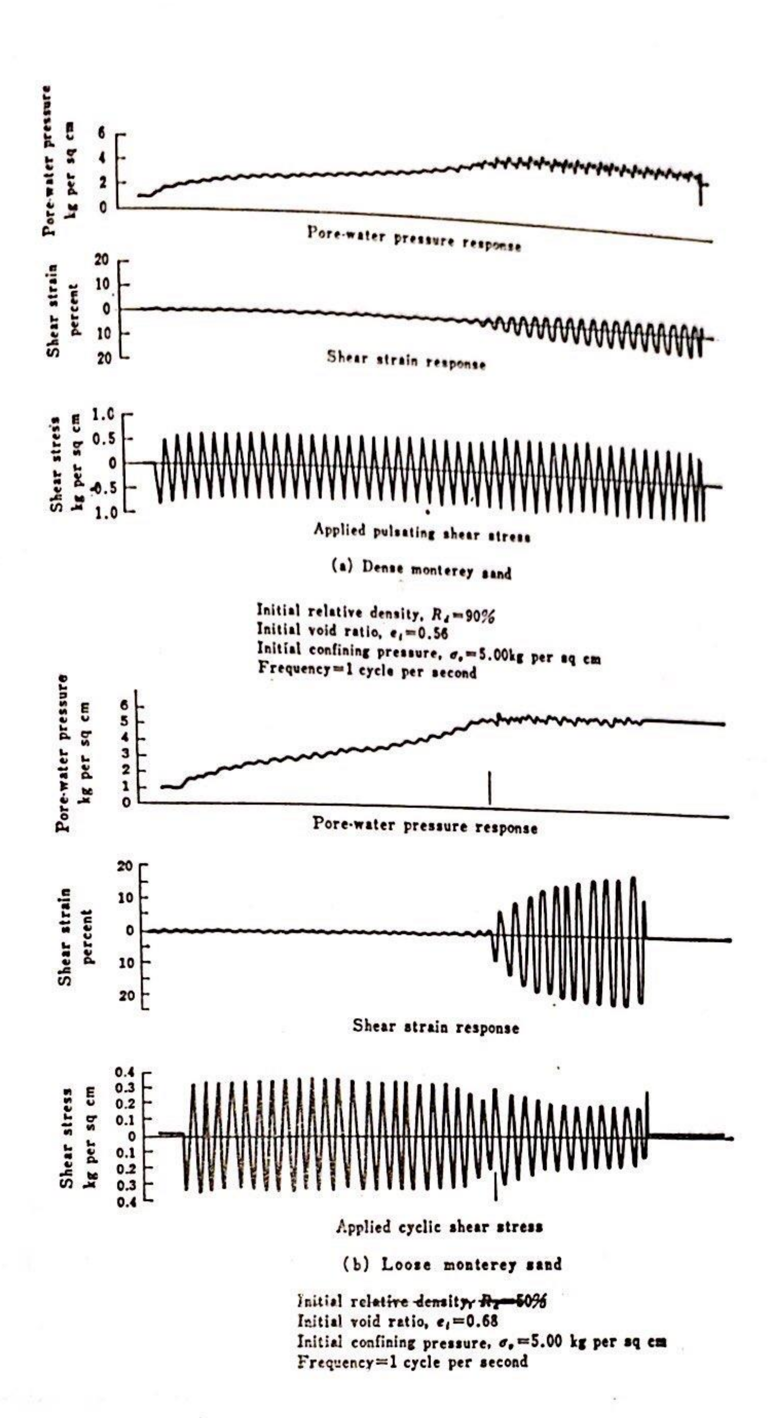
قبل الاستمرار في شرح بعض حالات الانهيار نتيجة انزلاق التدفق ومن أجل تفهم أدق لعملية التميع لابد من القاء بعض الضوء على نتائج التجارب التي قاما بها المهندسان الامريكيان سيد ولي (١٩٦٦) (Seed and Lee, 1966) • من خلال تسليط جهود قصبية دوريية متكررة (Repeated Cyclic Shear Stresses) على عينات من التربة الرطبة المشبعة المرصوصة وغير المرصوصة ظهر بأنه بالنسبة للتربة غير المرصوصة وبعد التحميل المتتالي يحدث التشويه الكبير (Deformation) وبالتالي يزداد بشكل سريع الى حد حصول التمييع الكامل ، بينما في حالة

العينة المرصوصة فأن التشويه يبدأ بشكل تدريجي مسبب بذلك التميع الجزئي كحالة نهائية • على هذا الاساس تم تعريف حالتين رئيسة في التميع وهما موضحتان بالشكل رقم (١١) • فالشكل (١١-أ) يمثل حالة التميع الجزئي للتربة المرصوصة ، حيث سعة الاستجابة للاجهاد القصي (Amplitude of Shear Strain Response) تقل عن ٢٠٪ ، بينما الشكل (١١-ب) يبين حالة التميع الكامل للتربة غير المرصوصة بسبب تجاوز الاستجابة نسبة ٢٠٪ •

هناك العديد من الامثلة عن انزلاق تدفق كان المحرك الرئيس فيها هو الهزات الارضية • وتتوزع هذه الامثلة على منحدرات طبيعية وسدود ركامية وخاصة لسدود قد أنشأت بطريقة الجرف الهيدروليكي ، اضافة الى حالات كثيرة لسدود مخلفات التعدين (Tailing Dams) وهي سدود ركامية الغرض منها تكديس ما يتخلف عن استخراج وتعدين بعض المعادن •

لقد سبق وشرحنا حالة الفشل والانهيار لسد شيفلد والتي نتجت من ظاهرة التميع في الجزء الاسفل من السد وبسبب هزة ارضية • كما أنه من الثابت الان بأن سد فورت بيك (Fort Peck Dam) وهو من السدود الركامية الكبيرة المشيدة بطريقة الجرف الهيدروليكي والذى فشل في بداية الاربعينيات قد فشل بسبب التميع وكما برهن على ذلك كاساكراند (Casagrande) • لقد كان هذا الفشل هو السبب في استبعاد طريقة الجرف الهيدروليكي من انشاء العديد من السدود المهمة خاصة في المناطق المعرضة للزلازل • ومن حالات الانهيار لسدود مخلفات التعدين انهيار سد منجم زليتوفو (Sletovo Tailing Dam) والمكون من مخلفات تعدين الرصاص والبالغ ارتفاعه (١٥) متر في يوغوسلافيا سنة (١٩٧٦) ، حيث سبب هذا الانهيار تلوث النهر القريب ، اضافة الى أمثلة اخرى من تشيلي ، حيث انهار (١٣) سدا من هذه السدود نتيجة لهزة (١٩٦٥) مما أدى الى وقوع حوالي (٦٠٠) اصابة بالارواح • وهنا لابد من أن نذكر بعدم تسجيل حالة فشل أو انهيار لسد ركامي بسبب تميع الطبقات الرملية في أسسه • الا ان هذا لا يعني عدم امكانية حصول من هذا الامر اذا ماتوفرت الظروف الملائمة • ولا بد من ذكر حقيقة مهمة في هذا الخصوص وهي عدم وجود عدد يذكر من السدود المهمة على أسس رملية ، لذلك فأن الخبرة المتوفرة في هذا الحقل لا يمكن أن تعتبر كافية بأى حال من الاحوال ، وعليه لابد لنا من افتراض امكانية هذا النوع من الفشل في بعض الظروف المتطرفة •

ان الخبرة الحالية المتوفرة عن ظاهرة التميع سواء المبينة على الفحوصات المختبرية أو دراسات انزلاقات تدفق مسجلة لا تعتبر كافية لامكانية التكهن عن مدى تعرض طبقات رملية معينة لهذه الظاهرة بصورة دقيقة • غيرا ان الامور العامة التي تؤشر مثل هذه الامكانية ترتبط بمدى رص هذه الطبقات وهذا بدوره يرتبط بنسبة الفراغات الموجودة (Void ratio) ، اضافة الى مدى نفاذية الطبقة الرملية قياسا بمعدل تسليط جهد القص عليها ، أى مدى امكانية تقليل الضغط المسامي الناتج عن الاجهادات الاضافية عن طريق الصرف (Drainage) • يضاف الى هذين الامرين مقدار ومعدل تسليط الاجهادات على الاسس الرملية غير المرصوصة خلال فترة انشاء السد أو عند تشغيل الخزانات



شكل (١١) التميع الجزئي والتميع الكلي لعينات من التربة المرصوصة وغير المرصوصة المشبعة نتيجة تحميلها جهود قصية دورية متكررة •
(From Seed & Lee, 1966)

أو مقدار ومعدل تغير هذه الاجهادات خلال الهزة الارضية اذا كانت الاخيرة هي المسببة للتميع.

ان الامور التي أشرنا اليها انفا ترتبط بخواص التربة التالية : ـ

(١) الكثافة النسبية للرمل (Relative Density).

(٢) خشونة حبيبات الرمل المتدرجة.

(٣) سمك الطبقة الرطبية ونفاذيتها.

(٤) الخواص الميكانيكية المتعلقة بمقاومة التربة اذا ما كانت مكونة من الطمى أو من الطين الضعيف واذا ما كانت مثل هذه التربة متخلفة في الطبقات الرطبية غير المرصوصة.

ان مقدار ومعدل تسليط الاجهادات الناتجة عن انشاء السد أو املاء الخزان تعتمد بالطبع على وزن وشكل السد وعلى معدلات تقدم انشائه، كما تعتمد على معدلات رفع وتخفيض المناسيب للخزان. وهذه الامور كلها يمكن تقديرها والسيطرة عليها. أما بالنسبة للاجهادات الناتجة عن الهزات الارضية فلا يمكن تحديدها بصورة دقيقة، كما لا يمكن السيطرة عليها وخاصة ما يتعلق بتأثير هذه الأجهادات على تغير الضغط المسامي، لذا يبقى احتمال التميع بالنسبة للمنحدرات والسدود في المناطق الزلزالية أمرا في غاية الصعوبة للتكهن بأبعاده أو معرفة اثاره بدقة. ومهما يكن الأمر فأن لدينا في الوقت الحاضر بعض المؤشراء العامة لحصر هذا الخطر وتجنبه قدر الامكان. وفي غياب طرق أفضل فأن هذه المؤشرات يمكن أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند تقيم مقاومة أسس أو منحدرات سد ركامي وكالاتي :

١ ـ ان الرمال ذات الكثافة النسبية التي تبلغ أو تزيد قيمتها عن (٥٠٪) تكون غير معرضة لخطر التميع بصرف النظر عن التدرج. وهذا يعني استعمال الرص لغاية هذه الكثافة أوأعلى لمثل هذه التربة.

٢ ـ يقل خطر التميع كلما كانت التربة الرطبية أكثر تدرجا أو أكثر خشونة، وهذا يعني ضرورة دراسة التدرج المذكور عند اجراء التحريات. وتكون الرمال الناعمة جدا والمنتظمة التدرج (Uniform) هي الاكثر عرضة للخطر المذكور، وكذلك الحال بالنسبة للطمى الخشن المتكون من الحبيبات المستديرة. وقياسا على ذلك تكون الطبقات الرطبية المترسبة بفعل الانهار أقل عرضة للتمييع من الطبقات المترسبة بفعل الرياح.

٣ ـ ان أعظم جهد مسلط على الاسس يتمثل عادة بوزن السد المتزايد خلال فترة الانشاء. أما الاجهادات الناتجة عن ضغط الخزان فتعتبر قليلة نسبيا وغير مؤثرة قياسا للنوع الأول، وحيث تكون أسس السد مشبعة بعد الانشاء مباشرة، لذا فأن خطر التمييع يكون أعظم مايمكن في خلال فترة انشاء وعند اكتمال بناء السد مباشرة.

٤ ـ لا تتوفر لدينا من الناحية العملية أسس لتقييم امكانية حصول انزلاقات التدفق نتيجة للهزات الارضية ، لذلك يفضل تجنب الاسس الرطبة قدر الامكان في المناطق ذات الزلزالية العالية ، كما يجب العناية الفائقة بالسيطرة النوعية لدرجة الرطوبة والرص للترب الرطبة المستعملة في الدفن في السدود خاصة في مثل هذه المناطق .

البـــــاب الثالــــــــــث

الطــوق التحليليـــة فـــي تصاميـم الســدود الركامية بالنسبة للزلازل

Part Three

Analytical Aseismic Methods in Embankment Dam Design

٣٠١ المقدمة (Introduction)

من أهم الامور التي على المصمم أن يلتفت اليها عند دراسة تأثيرات الهزات الارضية في تصميم سد ما أو في استقرارية منحدر طبيعي معين تلك الامور التي ثبت تأثيرها بالتجربة ، من خلال الخبرة السابقة المكتسبة • ان دراسة هذه الامور تعطينا مؤشرات عن مواطن وظروف عدم الاستقرار الممكنة • فمن المعروف مثلا الان ولفترة طويلة سابقة بأن وجود طبقات رملية غير مرصوصة ومشبعة في أسس سد ما أو ضمن التركيب الجيولوجي لمنحدر طبيعي يعني احتمال تمييع هذه الطبقة خلال هزة أرضية محتملة • وبالتالي وقوع انزلاق في منحدرات السد أو في المنحدر الطبيعي المذكور • وتكون الوضعية مشابهة عند وجود طبقة طينية رخوة وحساسة (Sensitive Clay) ، حيث تحت ظروف خاصة تكون احتمالات وقوع الانزلاق عالية • وخير مثال على الحالة الاخيرة الانزلاقات الواسعة النطاق التي حصلت في المنحدرات الطبيعية نتيجة لهزة (١٩٦٤) في الاسكا •

لذا فأن استعمال أية طريقة تحليلية لتقييم استقرارية سد أو منحدر طبيعي لن يعطينا مؤشرا حقيقيا لدرجة الامان المتوفرة ما لم يدعم ذلك بفهم جيد للخواص الجيولوجية التفصيلية للموقع وخواص التربة الهندسية وما لم يدعم ذلك أيضا باختيار المؤشرات الزلزالية الصحيحة في التقييم •

لقد سبق وشرحنا كيفية تأثر السدود بالهزات الارضية والاضرار التي قد تعرضت لها نتيجة لذلك • ويمكننا هنا أن نجعل أشكال الحركة في السدود الركامية والمتأتية من الهزات بما يلي :ـ

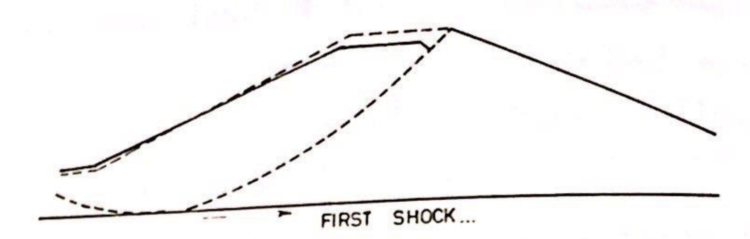
أ) حركة كتلة أو شريحة من المنحدر الامامي أو المنحدر الخلفي وانزلاقها نحو الخارج وباتجاه الاسفل •

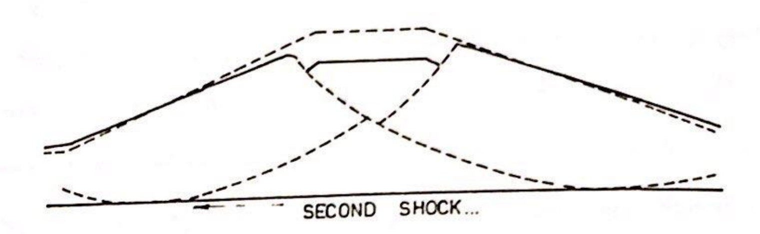
ب) انزلاق السد بأكمله وككتلة واحدة على طبقة ضعيفة في الاسس •

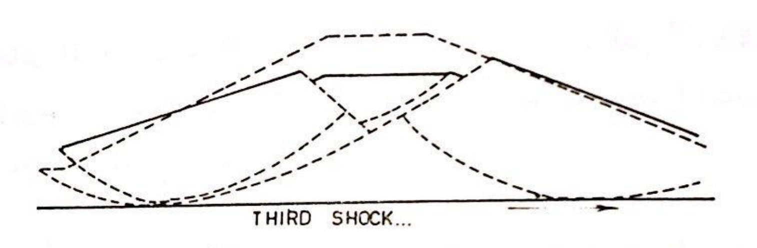
جـ) حركة تفاضلية بين مكونات السد أو بين السد وبعض طبقات الاسس مما يؤدي الى وقوع تشققات بسبب اجهادات القص في القشرة الارضية والناتجة عن الحركة الموجية •

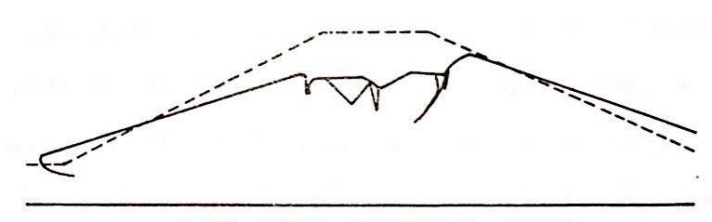
ان تغير اتجاه التعجيل بصورة متكررة خلال الهزة الارضية قد يؤدي الى حصول بعض أو كافة الامور التي أشرنا اليها • وقد أوضح البروفيسور امبراسيز (١٩٦٠) (Ambraseys, 1960 ذلك بصورة تخطيطية كما في الشكل (١٢) •

ان دراسة الهزات الارضية وأطيافها ايضا تغني التجربة المتراكمة في هذا الحقل • وهناك عدد من الهزات الكبيرة التي أمكن تسجيلها وتسجيل تغيرات التعجيل والسرعة والازاحة فيها • ويمكن في









شكل (١١) الانزلاقات المحتملة فى السدود نتيجة الهزة الأرضية (بموجب امبريزي)
(From Ambraseys, 1960 b)

لاعمال التصاميم والدراسات للس (Model) الهزات كنموذج أحد هذه
الكثير من الحالات اعتماد أحد هذه الهزات كنموذج (Model) لاعمال التصاميم والدراسات للسد بعد اجراء عملية تكبير أو تصغير عليها بما يجعل تعجيلها مساو للتعجيل الاقصى في الموقع تحت الدراسة وكما سيتم شرحه . ان تقييم استقرارية سد ما أو منحدر طبيعي تحت الظروف الاعتيادية أى (بدون الهزات الارضية) تتلخص باحتساب أقل قيمة لمعامل الامان بالنسبة لحصول انزلاق تحت تأثير قوى الوزن وضغط المياه المسامي (Pore Pressure) وضغط مياه الخزان من جهة ومقاومة قوى الاحتكاك وقوة التماسك والتلاصق (Cohesion) لجزيئات التربة من الجهة الاخرى ، حيث تعمل القوى الاولى على تقليل الاستقرارية ، بينما تقاوم القوى الثانية ذلك .

ويتم التوصل الى قيمة معامل الامان الدنيا هذه بتحليل عدد كبير من سطوح الانزلاق المحتملة خلال جسم السد أو جسم السد وأسسه . وحسب التركيب الجيولوجي لهذه الاسس وطبيعة المواد المكونة لجسم السد قد يكون سطح الانزلاق المحتمل قوسيا أو بشكل سطوح مستوية ومماثلة . وتعاد الحسابات لعدد من حالات التشغيل المختلفة كأن يكون الخزان فارغا (بعد الانتهاء من انشاء السد مباشرة) أو أن يكون مستوى الخزن بمناسيب مختلفة أو في حالة خفض المناسيب السريع ، حيث ان حالات التشغيل هذه تغير من قيم القوى المؤثرة ، اضافة الى اختلاف درجة تشبع التربة واختلاف ضغط المياه المسامي .

ان قيمة معامل الامان الدنيا التي نحصل عليها من الحسابات التي أشرنا اليها يجب أن لاتقل عن حد معين مقرر سلفا يجب عدم تجاوزه . وتكون عادة القوى المؤثرة في هذا التحليل في حالة السكون . أى أن الوضعية لاتخرج من الطور الستاتيكي البحت .

أما عند دراسة تأثيرات الهزات الارضية فأن الوضع يكون مختلف ، حيث ان القوى الناتجة عن هذه الهزات ذات طبيعة ديناميكية وتمثل قوى القصور الذاتي (Inertia Forces) سواء كانت هذه القوى متصلة بالكتلة المعرضة للانزلاق أو ناتجة عن زيادة الضغط الهيدروديناميكي لمياه الخزان ، لذا فأن دراسة هذه القوى يتطلب شكلا خاصا من المعالجة بصورة عامة ، فهناك اسلوبان رئيسيان من أساليب التحليل . يتلخص الاسلوب الاول بتبسيط الحالة الديناميكية وتحويلها الى وضعية ستاتيكية مكافئة باضافة قوى ذات مقادير معينة لتأثيرات الهزة الارضية وتطبيق الحسابات الخاصة لحالات الاستقرارية التي ذكرناها . ويدعى هذا الاسلوب بأسلوب التحليل شبه الاستاتيكي (Pesudostatic) . ان تبسيط القوى الديناميكية الى قوى ستاتيكية مكافئة يتم بضرب الكتلة بمعامل خاص يعرف بالمعامل الزلزالي (K) (Seismic Coefficient) أى :

$$P = K.W \qquad \ldots (38)$$

حيث أن :

قوة القصور الذاتي الستاتيكية = P
المعامل الزلزالي = K
وزن الكتلة تحت الدراسة = W

ففي طريقة فيلينيوس (Fellineous) أو ما يعرف بالطريقة السويدية لتحليل الاستقرارية (Swedish method) فأن الكتلة المحتمل انزلاقها تقسم الى شرائح ويكون معامل الامان (F) :

$$F = \frac{\sum (N - U) \tan \phi + \sum C \Delta S}{\sum (T)} \quad \ldots (39)$$

حيث أن :

$\sum (N-U)$ = محصلة القوى المؤثرة بصورة عمودية على السطوح السفلى للشرائح .
N = القوى المؤثرة بصورة عمودية على السطوح السفلى للشرائح الناتجة عن الوزن
U = الضغط المسامي الكلي المؤثر عموديا ونحو الاعلى على السطوح السفلى للشرائح
T = مركبات الوزن الموازية لسطح الانزلاق والتي تعمل على الانزلاق
$\sum C \Delta S$ = قوة التماسك والتلاصق الكلية
ϕ = زاوية الاحتكاك الداخلي لمادة الدفن

وتصبح المعادلة بعد ادخال تأثيرات الهزة الارضية المكافئة :-

$$F = \frac{\sum (N-U-KT) \tan \phi + \sum C \Delta S}{\sum (T+KN)} \quad \ldots (40)$$

ولو استعملنا طريقة اخرى لتحليل الاستقرارية غير طريقة فيلينيوس أعلاه فأن اسلوب المعاملة يكون مشابهـا لما ورد اعلاه . هذا وتبقى المسألة في اختيار المعامل الزلزالي وطريقة التحليل المستخدمة . أما الأسلوب الثاني من اساليب التحليل فيعتمد التحليل الديناميكي للحركة ، حيث تتم دراسة التغير الزمني لعناصر الحركة خلال الهزة الارضية . والمقصود هنا تغير التعجيل والسرعة والازاحة . ومن ثم

ايجاد الاجهادات والمطاوعة في اجزاء السد المختلفة • ويتم تقييم سلامة السداد والمنحدر على أساس قيم هـذه الازاحات وقيم هذه المطاوعة • وفي هذين الاسلوبين لابد من اعتماد هزة أرضية فعلية كنموذج (Model) (تم تسجيلها وتحليلها فعلا) • حيث يتم تقييس (Normalization) هذه الهزة بجعلها ذات تعجيل مساو للتعجيل التصميمي المتوقع في الموقع وكما شرحنا • كما لابد في الاسلوب الديناميكي من اعتماد خواص التربة الديناميكية (كخواص القص الديناميكي) بدلا من الخواص الستاتيكية • حيث أن مقاومة التربة تحت تأثير القوى الديناميكية تختلف عن مقاومتها تحت القوى الستاتيكية وسوف نتطرق الى كافة هذه الامور فيما بعد •

٣٠٢ التحليل شبه الاستاتيكي ـ استعمال القواعد التجريبية

(Pseudo-Static Analysis-Empirical Rules)

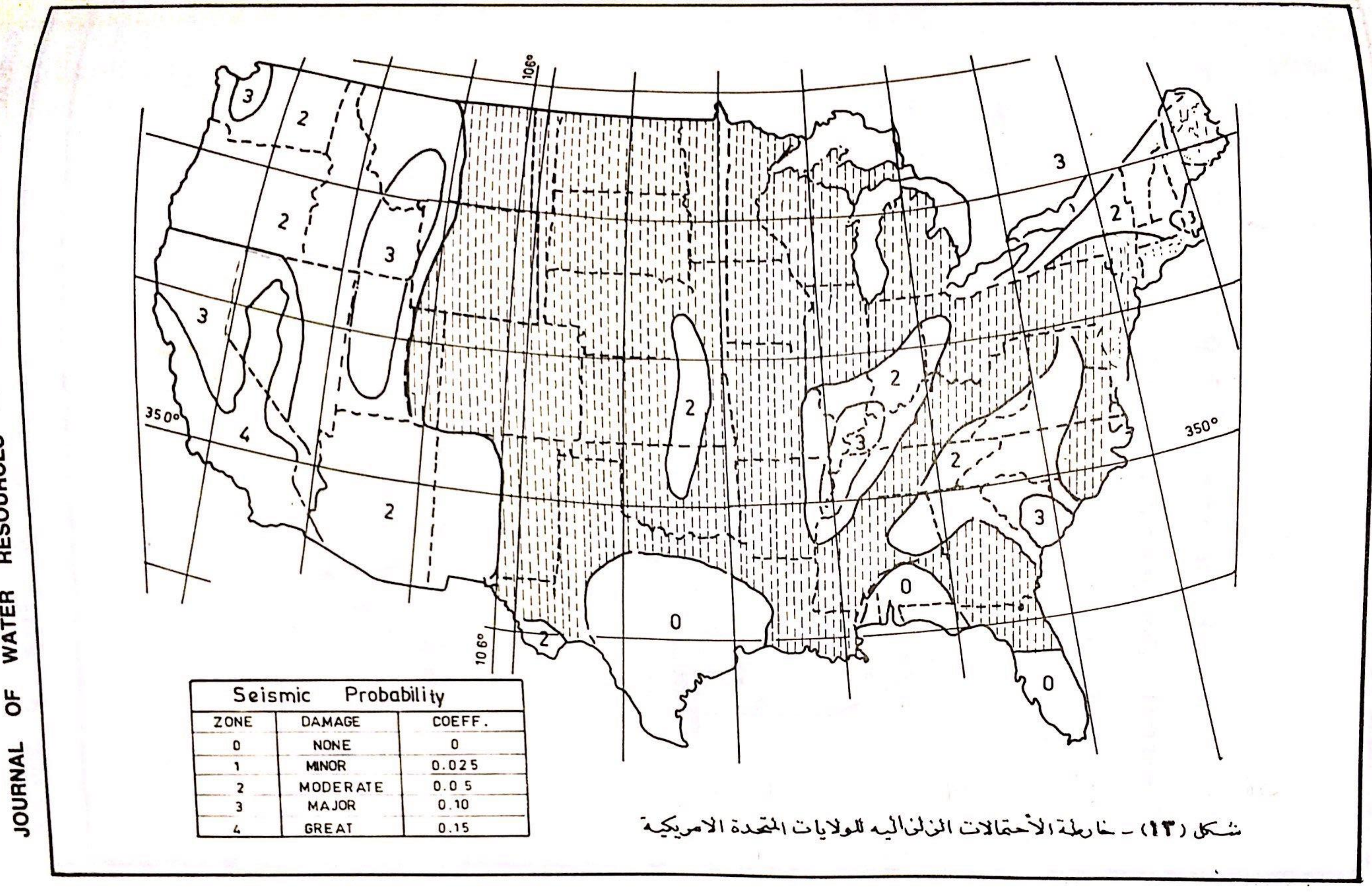
ان المعايير التصميمية المتبعة في بعض دول العالم ترى استعمال قيم محددة للمعامل الزلزالي (K) • كما ترى هذه المعايير حدودا عليا ودنيا لقيمة المعامل المذكور وحسب المنطقة أو القطر الذى تطبق فيه تلك المعايير • وقد يكون بالامكان ربط قيمة المعامل الزلزالي المستعمل في منطقة ما بخارطة الاحتمالات الزلزالية لتلك المنطقة (Seismic Probability Maps) •

ومن الجدير بالذكر هنا • بأن التوزيع الجغرافي للقيم الاحتمالية يرتكز بالاساس على المشاهدة والتجربة الفعلية • وعلى هذا الاساس نرى بأن حدود قيمة المعامل المذكور المستعملة في الولايات المتحدة تتراوح بين (٥٪ ـ ١٥٪) • بينما تتراوح القيم المستعملة في اليابان بين (١٠٪ ـ ٢٥٪) ويتم اختيار القيمة المستعملة في التصاميم بين هذه الحدود وحسب فعالية المنطقة الزلزالية مع أخذ أهمية السد بنظر الاعتبار كما في الاشكال (١٣ ، ١٤ ، ١٥) • ان المعايير التي ذكرناها بافتراضها معاملا زلزاليا ثابتا تفترض بأن رد فعل السد بالنسبة للحركة الزلزالية لا يتصل بأبعاده الهندسية ولا بخواص المواد المكونة له • وتشذ عن ذلك المعايير السوفيتية لسنة (١٩٥٧)(Hydrotechnical Project 1957) •

حيث أن المعايير هذه تعطي قيمة المعامل الزلزالي للمنطقة التي سينشأ فيها السد وضمن الحدود (١٥٪ ـ ٣٠٪) • الا ان تجاوب السد وخواص مواده تعدل القيمة الداخلة في الحسابات التصميمية بموجب المعادلة التالية : ـ

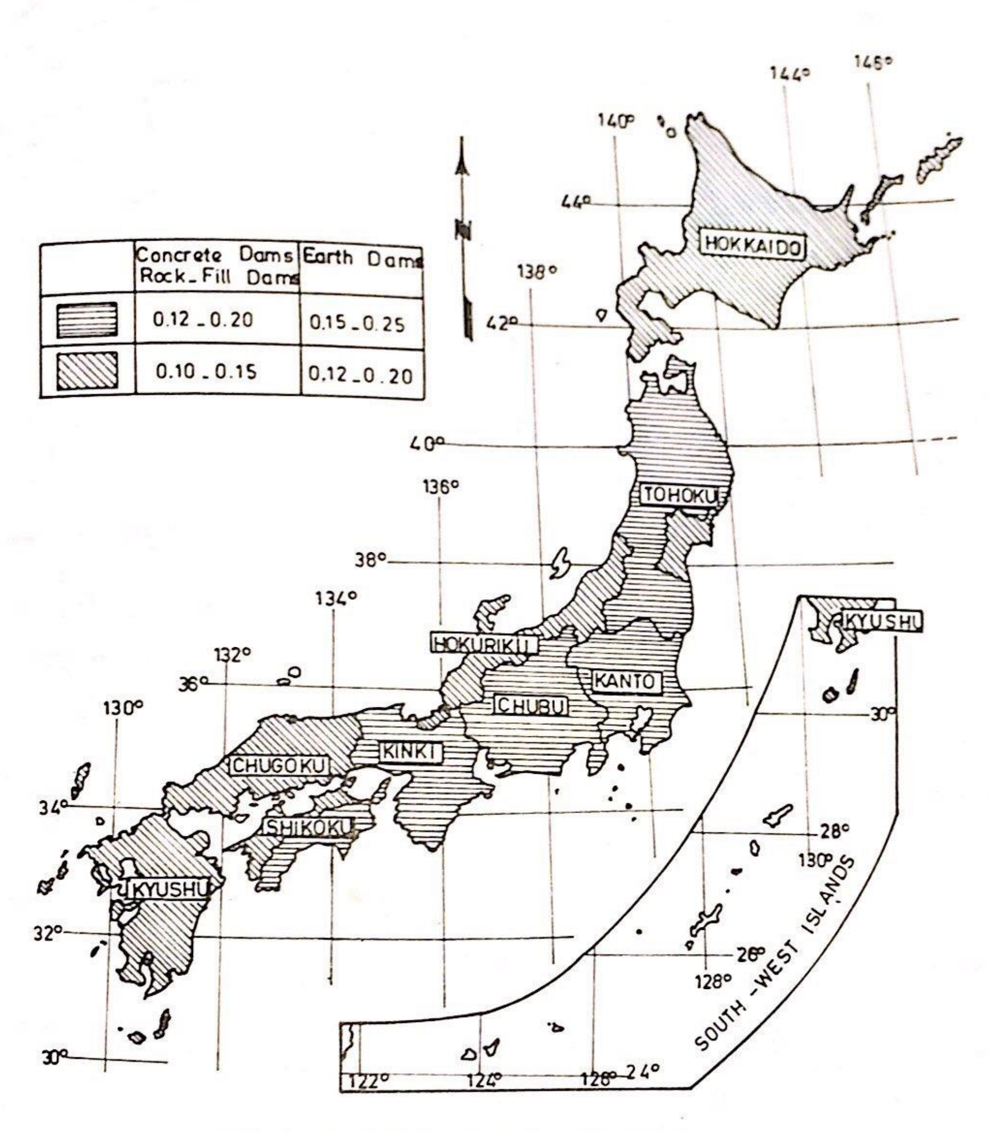
$$K = 1.6 \frac{\eta}{2\lambda}\left[1 - \left(\frac{b}{B}\right)^2\right] \qquad \text{.....} (41)$$

حيث ان : (η) هو معامل التماسك (Cohesion Coefficient)



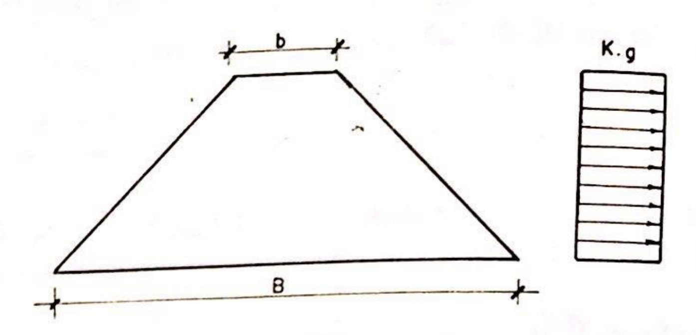
Seismic Probability		
ZONE	DAMAGE	COEFF.
0	NONE	0
1	MINOR	0.025
2	MODERATE	0.05
3	MAJOR	0.10
4	GREAT	0.15

شكل (١٣) - خارطة الاحتمالات الزلزاليه للولايات المتحدة الامريكية

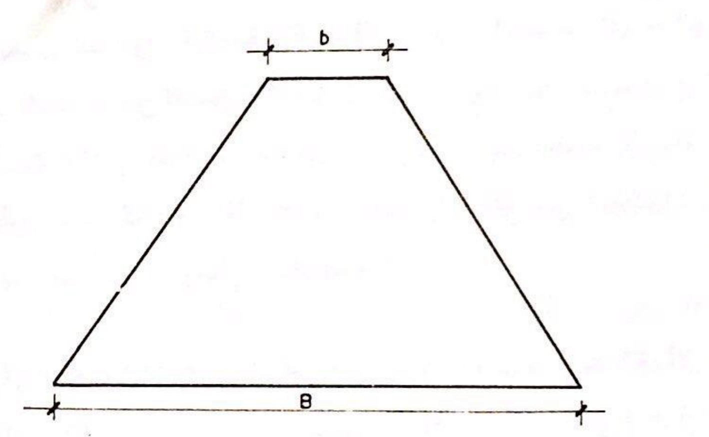


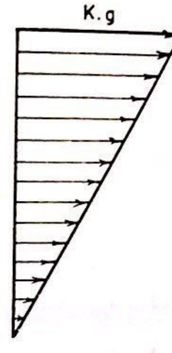
ZONING OF DESIGN SEISMIC COEFFICIENT...

شكل (١٤) خارطة الأحمالات الزلزالية (والمعامل الزلزالي) لليابان



أ - توزيع المعامل الزلزالي المنتظم على ارتفاع السد





ب - توزيع المعامل الزلزالي بموجب المعايير السوفيتية (١٩٥٧) على ارتفاع السد

شكل (١٥) توزيع المعامل الزلزالي (K) حسب ارتفاع جسم السد •

ويتراوح بين $0.3 \leqslant \eta \leqslant 0.15$

بينما (λ) هو معامل الاخماد لمادة الدفن (Damping Coefficient) ويعرف بأنه النسبة المئوية من الاخماد الحرج ، حيث أن الاخير يمثل مقدار الطاقة الحركية التي يتم تبديدها لكبح الحركة الاهتزازية بصورة كاملة .

٣-٣ التحليل شبه الاستاتيكي ـ استجابة الاجسام الجاسئة (Rigid Body Response)

لو افترضنا بأن السد الركامي يستجيب (Responds) للهزة الارضية كتجاوب الاجسام الجاسئة (Rigid) فأن هذا يعني بأن التعجيل المؤثر على السد هو نفس تعجيل الحركة الارضية الناتجة عن الهزة ويكون توزيع هذا التعجيل منتظما في كافة اجزاء السد . وغالبا مايفترض المصممون بهذه الطريقة المعامل الزلزالي (K) باعتباره مكافيء للتعجيل الاقصى للحركة الارضية (Peak Ground Acceleration) .

ان أهم الاعتراضات على هذا الافتراض مايلي :-

- قد تتجاوب بعض السدود الركامية القليلة الارتفاع والواقعة داخل مضايق فعلا كأجسام جاسئة الا أن هناك العديد من التجارب الحقلية التي اجريت لبعض السدود القائمة بتعريضها للاهتزاز بواسطة مكائن اهتزاز ضخمة خاصة . وقد اظهرت هذه التجارب عدم صحة هذا الافتراض حيث ان تجاوب السد كان مخالفا لشكل الاهتزاز المتوقع عن الحركة الارضية ، كما ان هذا التجاوب لم يكن كتجاوب الاجسام الجاسئة .

- من المعلوم ان التعجيل الاقصى الناتج عن الحركة الارضية لا يتحقق الا لفترة قصيرة للغاية ويمكننا أن نضرب الامثلة العديدة على ذلك . ففي هزة السنترو (١٨ / ٥ / ١٩٤٠) لم يتحقق التعجيل الاقصى البالغ (٣٣٪) من التعجيل الارضي (المركبة الشمالية ـ الجنوبية) الا لفترة (٠ر١٢) ثانية بينما كانت فترة الاهتزاز الكلي بتعجيل يزيد على (٣٪) من التعجيل الارضي تساوي (٣٠) ثانية . وكان التعجيل الاقصى للمركبة (الشرقية ـ الغربية) (٢٢٪) من التعجيل الارضي وتحقق لفترة (١٣٪) ثانية فقط من أصل فترة الاهتزاز الكلي الانفة الذكر . لهذا السبب فأن المطاوعة النسبية الناتجة عن التعجيل الاقصى تكون محدودة . وعلى الرغم من ان هذه المطاوعة ستزداد نتيجة للتأثير التراكمي للتعجيلات الاخرى وقوى القصور الذاتي المتولدة أثناء الهزة الارضية الا ان المطاوعة النسبية الكلية لا يمكن أن نعتبرها وكأنها ناتجة من قوة القصور الذاتي للتعجيل الاقصى وحده مؤثرا طوال فترة الاهتزاز كما تفترض هذه الطريقة بالتحليل .

ى يعنى ان هذه الطريقة تعطينا نتائج وان كانت أمينـة ، الا أنها لاتمثل الواقع • وان المطاوعـة النسبيـة والاجهادات المحتسبـة من خلالها تحتوى على درجـة من المبالغـة •

٣-٥ التحليل شبه الاستاتيكي ــ الاستجابة اللزجة ــ المرنة (Visco-Elastic Response)

ان العيوب التي أشرنا اليها في الطريقتين المذكورتين قد جعلت بعض الباحثين يحولون وجهة اهتمامهم باتجاه اخر الا وهو محاولة الاستفادة من الخواص المرنة للسدود واستخدام نظرية المرونـة مع ادخال عوامل الكبح الذاتي اللدن للسدود في مثل هذا التحليل • وقد تطور هذا الاتجـاه خلال فترة امتدت حوالي نصف قرن لغاية الان ويمكننا أن نجمع هذه الاساليب تحت طريقـة التحليل اللزج ــ المرن (Visco-Elastic Analysis) • ان الاساس النظرى لهذه الطريقة يعتمد على افتراض بأن السد الركامي مكون من عدد كبير جدا من الشرائح الافقية ذات السمك المتناهي في الصغر (Infinitesimal) الواحدة فوق الاخرى • كما يفترض هذا النموذج بأن الشرائح مرتبطة مع بعضها بواسطة نوابض مرنة (Elastic Springs) وخامدات أو كوابح لزجة (Viscous Dampers) ويكون تجاوب السد للاهتزاز هو المحصلة الكلية لتجاوب هذه الشرائح للحركة الاهتزازية المؤثرة فـي قاعدة السد •

لغرض تبسيط الأمـر لابـد لنـا في البدء من دراسة تجاوب منظومـة بسيطـة كالتي في الشكل (١٦) للاهتـزاز :

تتكون المنظومة المذكورة وكما هو واضح في الشكل من كتلة حرة الحركة ، حيث تكون حركتها علـى سطح افقي ومستـو ، وهي مرتبطـة بنابض مرن وتنتج حركة هذه الكتلة من مطاوعة النابض لتيجـة لاجهاد خارجي وتضم المنظومة خامد للحركة (Damper) يعمل على اخماد الحركة وتبديد طاقتهـا الحركيـة •

ان تجاوب منظومة الاهتزاز الخارجي يكون عن طريق حركتها • وفي هـذه الحركة تكون الازاحـة السرعة والتعجيل متناسبة مع التردد للاهتزاز الخارجي • وفي حالة عدم وجود الكابح يكون هناك سقـف على مطلق للازاحـة والسرعة والتعجيل بالنسبة لتردد معين ويتحدد هذا السقف بموجب خواص المرونـة للمنظومـة • أما بوجود الكابح فأن اقصى ازاحة وسرعة وتعجيل تتحدد ايضا بموجب نسبة الكبح أو مايعرف بمعامل الاخماد (λ) • وقد سبق لنا أن عرفنا هذا المعامل بالنسبة للسدود في (٢-٣) • ويكـون معامل الاخمـاد للحركة الاهتزازيـة المصاحبة للهزة الارضيـة معتمـدا على الخواص الجيولوجيـة للموقع وخواص المواد المكونة للسد الركامي • وتعرف المنظومة البسيطة هذه بمنظومة ذات درجة واحـدة من الحرية (One-Degree of Freedom) • وبامكاننا أن نطور هذا النموذج البسيط الى نموذج أكثـر تعقيدا وهو ما يعرف بنموذج ذراع القص (Shear Beam Model) كما في شكل (١٧أ) • ويمكننـا

أن نفترض بأن تجاوب السدود الركامية مشابها لتجاوب هذا النموذج • أي كمنظومة ذات عدة درجات من الحرية (Multi-Degree of Freedom) •

في هذا النموذج يمكن لأية كتلة أن تتحرك نسبة الى الكتل الاخرى ، وهذا يعني امكانية تجاوب المنظومة للحركة الاهتزازية في عدة أشكال أو أطوار • ولكل طور من هذه الاطوار تردده المعين ويكون الطور الاساسي (Fundamental Mode) هو أقل الأطوار ترددا ، يليه الطور الثاني والطور الثالث ، وكما هو واضح من الشكل (١٧ ـ ب ـ جـ ـ د) •

لقد وجد العلماء اليابانيون مونونوبي وتاكادا وماتسوموريا (١٩٣٦) (Mononobe et al, 1936) بأن تجاوب السد الاهتزازي الناتج عن الهزة الارضية يخضع لمعادلة جيبية (Sinusoidal) • وقام هاتاناكا (١٩٥٢) (Hatanaka, 1952) بايجاد فترة التردد لهذه الحركة واستنتج بأنه وعندما تكون نسبة طول قاعدة السد الى ارتفاعه تساوى (٢) أو أقل ، فأن الحركة الاهتزازية تكون ناتجة عن قوى (القص ـ الحني) (Shear Bending Vibration) • ويمكن ايجاد فترة التردد (T_{RS}) من المعادلة التالية :ـ

$$T_{RS} = 4.422 \sqrt{\frac{\rho}{E}} \cdot H \qquad \ldots (42)$$

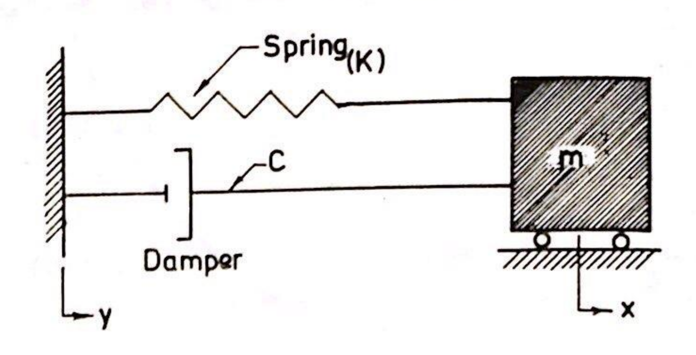
$$\alpha = \frac{B}{H} \leqslant 2.0$$

أما عندما تكون نسبة القاعدة الى الارتفاع (٣) أو أكثر فأن الحركة الاهتزازية تكون ناتجة عن قوى القص فقط (Shear Vibration) وإن فترة الحركة (T_s) يمكن ايجادها من المعادلة التالية :ـ

$$T_s = 4.293 \sqrt{\frac{\rho}{E}} \cdot H \qquad \ldots (43)$$

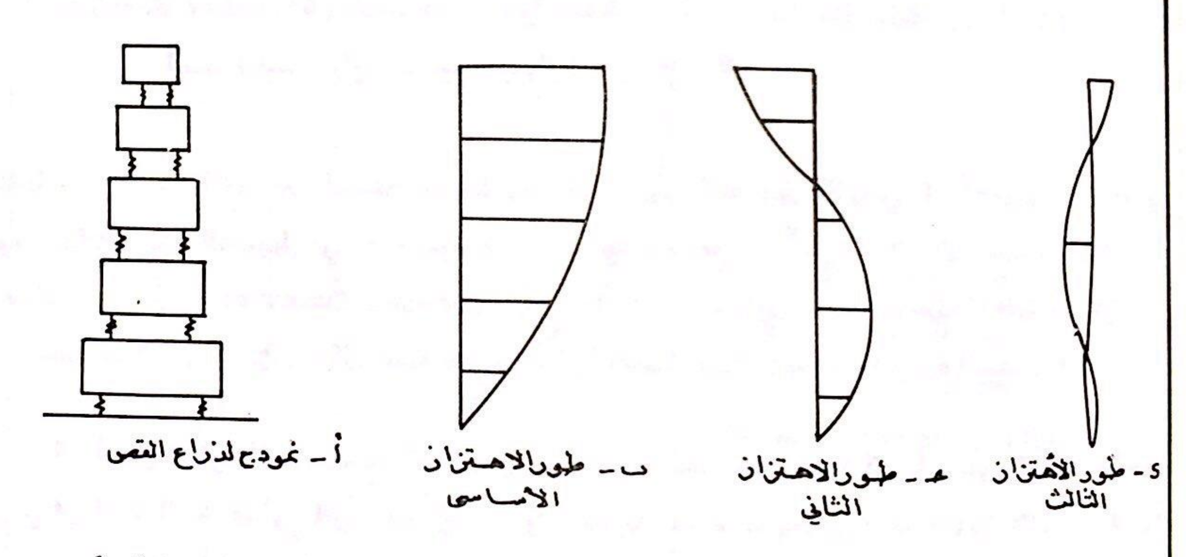
$$\alpha = \frac{B}{H} \geqslant 3.0$$

ان المعادلتين اعلاه مبنيتين على اعتبار قيمة معامل بوسون (Poissons Ratio σ) للسدود الركامية تساوى (٠ر٣٥) ، حيث أن :



$$U = X - Y$$

شكل (١٦) منظومة مرنة بسيطة مع خامد لزج (ذات درجة واحدة من الحرية).



شكل (١٧) نموذج لذراع القص واطوار اهتزازه (منظومة ذات عدة درجات من الحرية)

$$G = \frac{E}{2(1+\sigma)} \qquad \dots (44)$$

أي أن :

$$E = 2.7\ G$$

وبتعويض قيمة (E) في المعادلتين أعلاه بما يعادلها من (G) نحصل على

$$T_{RS} = 2.691 \sqrt{\frac{\rho}{G}} \cdot H \qquad \dots (45)$$

$$T_s = 2.612 \sqrt{\frac{\rho}{G}} \cdot H \qquad \dots (46)$$

حيث أن :

كثافة مادة السد (غرام / سم٣) = ρ

ارتفاع السد (سم) = H

عرض قاعدة السد (سم) = B

نسبة القاعدة للارتفاع = α

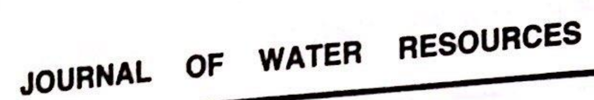
معامل المرونة لمادة (Elasticity Modulus) السد (غرام / سم٢) = E

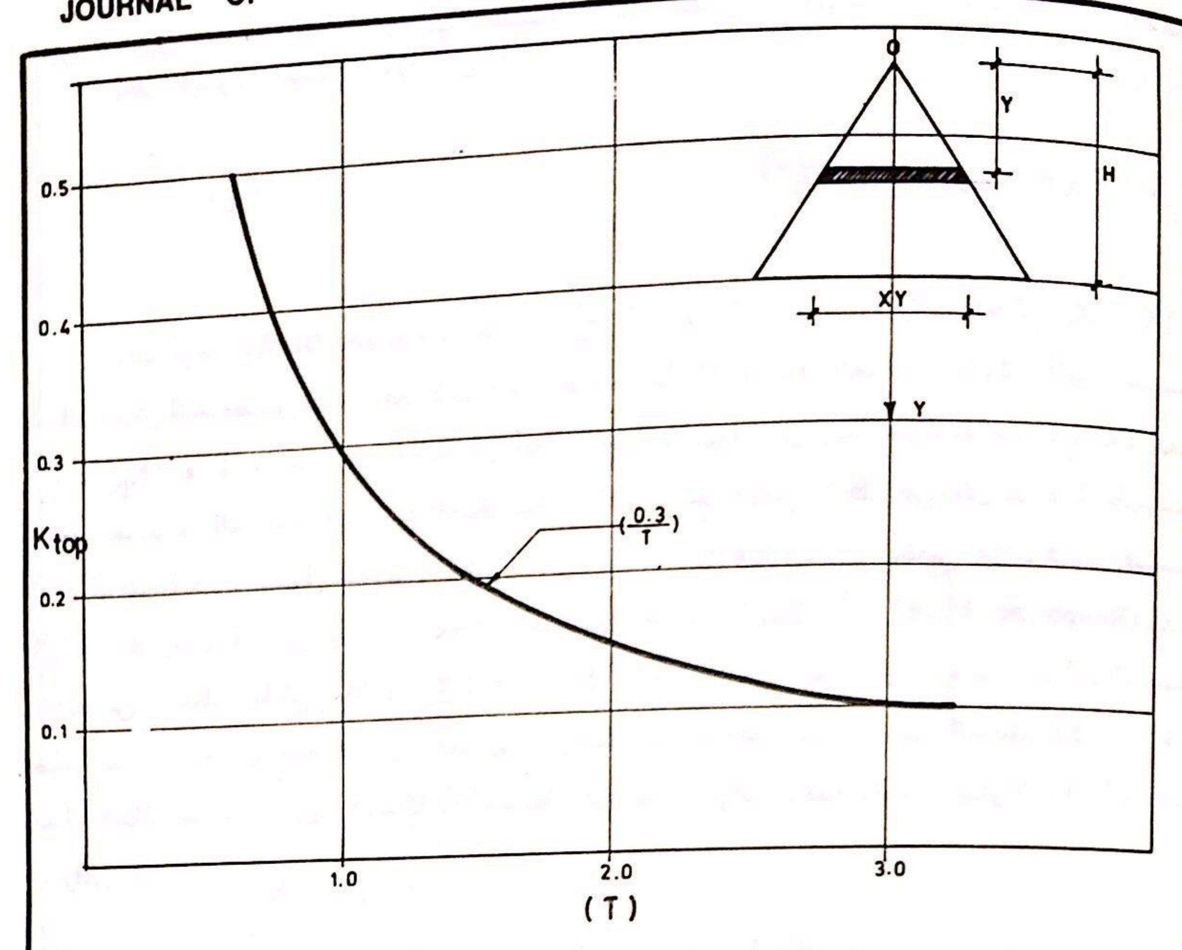
المعامل الجسوء لمادة (Rigidity Modulus) السد (غرام / سم٢) = G

علما بأن (E) و (G) عند استخدامهما يجب أن تضرب بالتعجيل الارضي : $g = 981\ cm/s^2$
كما وجد هاتاكا بأن التعجيل في أى منسوب من السد يتناسب مع $Jo(2.41\ \frac{Y}{H})$ حيث أن (Jo) هي دالة بيسل (Bessel function) وأن (Y) هو مستوى محصلة الحركة الافقية المؤثرة على جسم السد بحيث ان Y/H تمثل نسبة تقع بين صفر (قاعدة السد) وواحد (قمة السد) •

ان أقصى تجاوب للسد بموجب هذا يكون في قمته • وقد أقترح هاتاكا بأن تكون قيمة المعامل الزلزالي في قمة السد مساوية الى $(\frac{0.3}{T_s})$ وان لاتزيد هذه القيمة عن (٥ر•) ولا تقل عن (٥ ١ر•) (راجع شكل ١٨) • أما تغير المعامل المذكور نسبة الى مناسيب السد المختلفة فهي بموجب دالة بيسل وكما وضحنا • وعليه يكون تغير المعامل الزلزالي على قمة السد كالاتي :

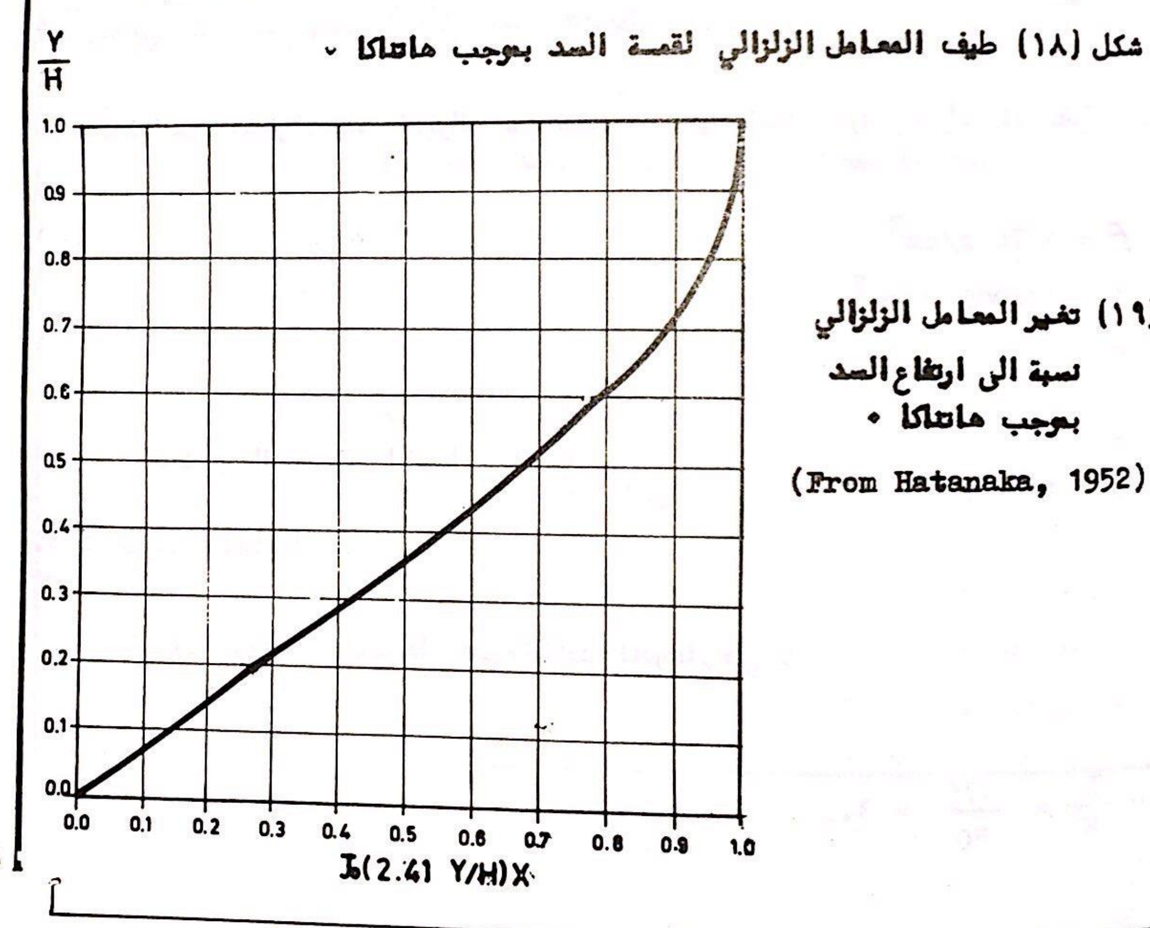
$$K_{TOP} = 0.15 \leqslant \frac{0.3}{T} \leqslant 0.5 \qquad \dots (47)$$





Spectrum of Seismic Coefficient for The Dam Top -(K_{top})

شكل (١٨) طيف المعامل الزلزالي لقمة السد بموجب هاتاكا ٠



شكل (١٩) تغير المعامل الزلزالي
نسبة الى ارتفاع السد
بموجب هاتاكا ٠

(From Hatanaka, 1952)

وعلى منسوب معين Y/H فان :

$$K = K_{TOP} \cdot J_o \left(2.41 \frac{Y}{H}\right) \qquad \ldots (48)$$

وقد أوجد هاتناكا تغير الدالة $J_o\left(2.41 \frac{Y}{H}\right)$ مع Y/H وكما في شكل (١٩) .

وهناك بعض المصممين الذين قد لا يذهبون مذهب هاتناكا باعتماد المعادلة (47) لايجاد (K_{TOP}) ، بل يعمدوا الى استعمال أطياف مسجلة لهزات أرضية معروفة كنماذج بعد تعديلها بموجب تعجيل الحركة الارضية المتوقعة في الموقع . ومن الامثلة على مثل هذه الاطياف المسجلة تلك التي درسها هاوسنر (١٩٥٩) (Housner, 1959) لخمس هزات شهيرة في كاليفورنيا وقدمها بشكل منحنيات لمعدل التعجيل مع زمن التجاوب (Response time) ولدرجات مختلفة من الاخماد كما في شكل (٢٠) . ونلاحظ في هذا الشكل بأن لكل هزة من الهزات الخمس معامل عددي لتعديل قيمة معدل التعجيل من المنحني بما يتفق مع التعجيل الحقيقي لتلك الهزة . وفي المثال التالي توضيح لطريقة هاتناكا مع استعمال فرضيته ، وكذلك منحنيات هاوسنر لايجاد المعامل الزلزالي .

مثال : في النية انشاء سد في موقع ما . وقد وجد بالدراسة بأن أقصى تعجيل محتمل للهزات الارضية في ذلك الموقع يساوي (٤٠٪) من التعجيل الارضي .

المطلوب : ايجاد تغير المعامل الزلزالي على مختلف مناسيب السد لاغراض دراسة الاستقرارية ، علما بأن :

$\rho = 1.76\ g/cm^3$

$G = 134000\ g/cm^2$

$H = 50\ m.$

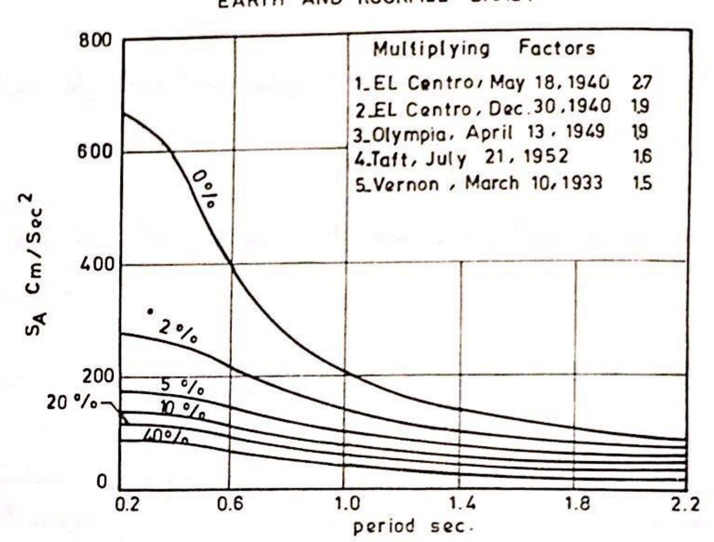
$S = 1.75$ (انحدار المنحدرين الامامي والخلفي)

$B = 175\ m.$

أولا : بموجب هاتناكا (١٩٥٢)

لايجاد فترة تردد السد فأن نسبة القاعدة للارتفاع هي :

$$\alpha = \frac{B}{H} = \frac{175}{50} = 3.5$$



Average Acceleration Spectrum Curves

شكل (٢٠) منحنيات طيف معدل التعجيل لهاوسنر

(From Housner, 1959)

وعلى هذا الاساس فأن فترة اهتزاز السد تخضع للمعادلة (46) بحيث أن :

$$T_s = 2.612\ (5000) \sqrt{\frac{1.76}{(134 x 10^3)\ 981}}$$

$$= 1.5\ s$$

وبموجب فرضيـة هاتناكا (47) يكون المعامل الزلزالي محسوب على قمة السد (K_{TOP}) هو :

$$K_{TOP} = \frac{0.3}{1.5} = 0.2$$

أى أن التعجيل الارضي على قمـة السد يبلغ % 20 أو

$196.2\ cm/s^2$

وباستعمال معادلة (48) والشكل (١٩) نحصل على القيم التالية للمعامل الزلزالي في المناسيب المختلفـة •

جدول رقـم (١١)

المنسوب	المعامل الزلزالي سم / ثا ٢
٥٠	١٩٦ر٢
٤٠	١٨٨ر٩
٣٠	١٥٤ر٦
٢٠	١٠٦ر٩
١٠	٥٢ر٩
صفر	صفر

ثانيا : بموجب أسلوب هاوستر (١٩٥٩) فيجب اختيار نموذج لهـزة أرضية حقيقية اخذين بنظر الاعتبار اقصى تعجيل افقي (قصي) مسجل لتلك الهزة (انظر الشكل ٢٠) • فلو وقع اختيارنا على نموذج الهزة الارضية التي حدثت في منطقة السنترو (El Centro) في كاليفورنيا عام (١٩٤٠) كنموذج تصميمي وعلمنا بأن اقصى تعجيل مسجل لهذه الهزة هو % 33 من التعجيل الارضي فمن الممكن الاستعانة بالشكل (٢٠) بافتراض معامل اخماد معيـن • ولو اخترنا معامل اخماد % 10 (وهو ثالث منحني من

الاسفل على الشكل ٢٠) ولفترة اهتزاز $T_s = 1.5$ نحصل على أقص تعجيل ، وفي هذه الحالة فهو $S_A = 60\ cm/s^2$.

الآن ، ومن أجل احتساب التعجيل الارضي على قمة السد نسبة الى نموذج هزة السنترو مع الاخذ بنظر الاعتبار اقص تعجيل ارضي محتمل للمنطقة Expected Peak Grcund Acceleration (محسوب من خلال تطبيق الطرق الاحتمالية على ملفة المعلومات الزلزالية للموقع ولعمر اقتصادى معين) والذى يبلغ 40% في مثالنا نحتاج الى ادخال معامل التصحيح الخاص لهزة السنترو وهو 2.7 من الشكل ، وبذلك فأن :

$$\text{التعجيل الارضي على قمة السد} = (2.7)\ \frac{(60)\ (0.40)}{0.33}$$

$$= 196.2\ cm/s^2$$

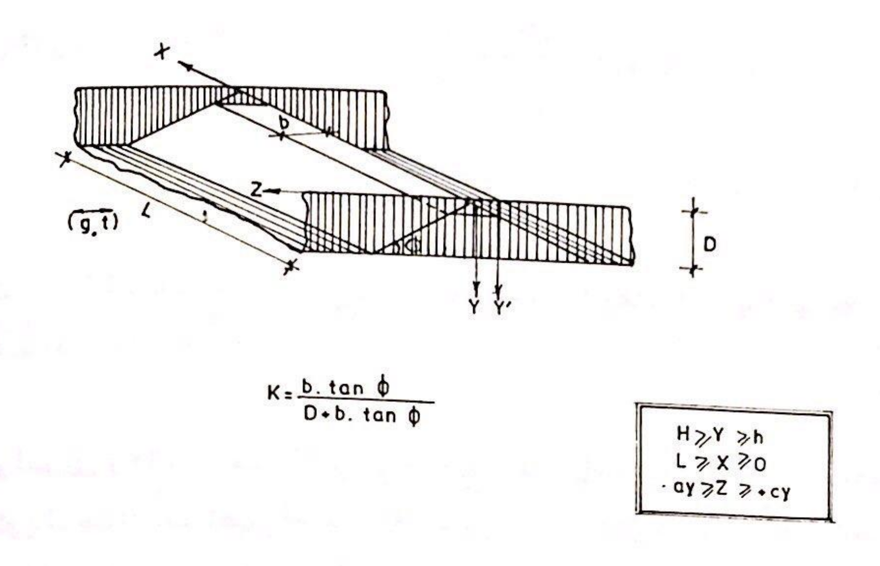
من الملاحظ هنا التطابق في النتائج بين طريقتي هاتناكا وهاوستر ، وبالطبع فلا يشترط هذا التطابق في كافة الاحوال .

لقد طور امبريزى (١٩٦٠) هذا النموذج ، حيث قام بدراسة المعامل الزلزالي لعدد من الاشكال بحيث يكون الاهتزاز باتجاهين أفقيين متعامدين . فقد اشتق قيمة المعامل المذكور لجسم مرن ومتماثل كما اشتقه لجسم مثلث ومنتظم على أساس مرن ذو عمق لا نهائي وحل المعادلات التفاضلية لاهتزاز جسم ذو مقطع بشكل شبه منحرف (شكل ٢١) كما هو الحال بالنسبة للسدود الركامية ووجد بأن الترددات للاهتزاز الحر للسد تخضع للمعادلة التالية :

$$Wmr = \left(\frac{S}{D}\right)\ (1 - K'')\ \left[a_n''^{\,2} + \left(\frac{\pi\ (1-K'')}{\mu}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \ldots(49)$$

في هذه المعادلة :

m =	مؤشر لتمثيل الخواص بالاتجاه المستعرض
r =	مؤشر لتمثيل الخواص بالاتجاه الطولي
W = undamped frequency	التردد الحر (بدون اخماد)
S = velocity of shear wave	سرعة الموجة القصية
D = Height of Dam	ارتفاع السد



شكل (٢١) طريقة أمبريزى للتحليل اللزج — المرن •

(From Ambraseys, 1960 a)

معامل الشكل $K'' =$ Coefficient of truncation

لتعريف (Ø) و (b) راجع شكل (٢١)

$$K = \frac{b.\tan Ø}{H + b.\tan Ø}$$

قيم عددية مرتبطة بمعامل الشكل راجع جدول (١٣) $a''_n =$

نسبة الطول الى الارتفاع للجسم المهتز $\mu =$

أما المعامل الزلزالي في هذه الحالة فقد اشتقه امبريزى وهو بموجب المعادلة التالية :

$$K = \frac{4}{g} \sum_{n=1,2}^{\infty} \sum_{r=1,3}^{\infty} r^{-1} \sin\left(\frac{r\pi x}{L}\right) \frac{J_o(a''_n Y'') Y_o(a''_n) - J_o(a''_n) Y_o(a''_n)}{J_o^2(a''_n) / J_1^2(K'' a''_n) - 1} \quad ...(50)$$

حيث أن :

التعجيل الارضي = ٩٨١ سم / ثا ٢ $g = 981 \ cm/s^2$

دالات بيـــــل $J_o, J_1 =$

ولتبسيط الحالة فقد اخذ أمبريزى الاهتزاز باتجاه واحد فقط أى ما يمكن تسميته الاهتـــــزاز الاحادى الاتجاه (One Dimensional Vibration) • بذلك تصبح المعادلـــــة (49) بالشكل التالي :

$$W_{on} = (S/D)\ (1 - K'')\ a''_n \quad ...(51)$$

بينما يمكن تبسيط معادلة المعامل الزلزالي (50) لتصبح بالشكل التالي :

$$K_n = A_n (W_{on}^2/g)(D/S)^2 Sa_n \quad ...(52)$$

$S_a =$ تعجيل الحركة الارضيـــة

من هذه المعادلة يمكننا ايجاد التعجيل في أية لحظة زمنية (t) وبأى منسوب من مناسيب السد وذلك بجمع كافة التعجيلات لاطوار الحركة الارضية خلال الفترة الزمنية من (صفر) وحتى (t) . وقد اقترح أمبريزى اخذ الاطوار الثلاثة الاولى فقط ، حيث ان ذلك يعطينا دقة كافية لاغراض التصاميم . ان قيمة الحد (A_n) يمكن استخراجها من الشكل (٢٢) ، وذلك لاطوار الحركة الثلاثة الاولى حيث يمكننا عندئذ ايجاد قيمة (K_n)لهذه الاطوار بعد استعمال المعادلة (52) كما أن قيمة (a_n'') لاطوار الحركة هذه أن تستخرج من جدول (١٢) التالي : —

جدول رقم (١٢)

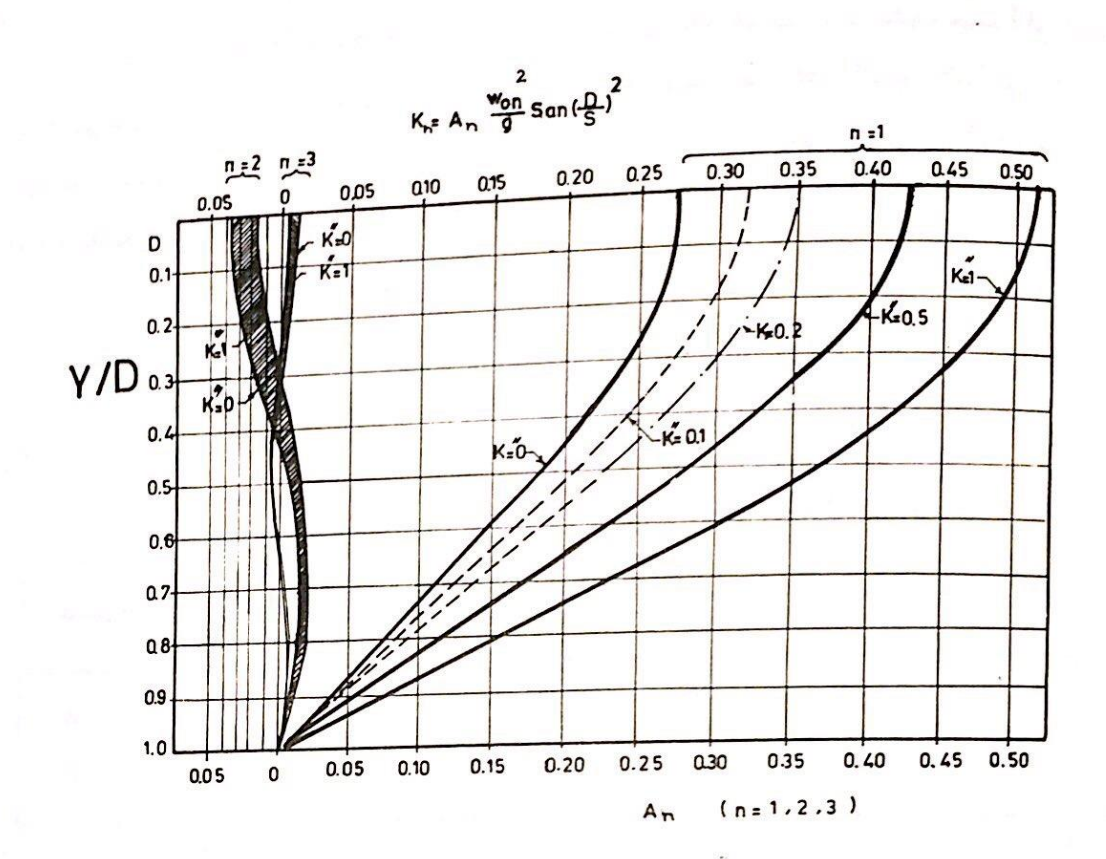
قيم a_n'' لاطوار الحركة بازدياد المعامل الزلزالي حسب المعادلة (52)

K''	a_1''	a_2''	a_3''	a_4''	a_5''	a_6''
0.000	2.40	5.52	8.65	11.79	14.93	18.07
0.100	2.45	5.72	9.30	12.60	15.98	19.41
0.158	2.51	5.97	9.66	13.60	16.90	20.66
0.200	2.57	6.23	10.05	13.92	17.81	21.71
0.250	2.67	6.58	10.67	14.80	18.96	23.13
0.300	2.79	6.99	11.39	15.83	20.29	24.76
0.500	3.59	9.60	15.82	22.07	28.34	34.61
0.800	0.21	23.69	39.34	55.34	70.73	86.43

وقد اقترح أمبريزى ايجاد متوسط المعامل الزلزالي لأى منسوب بأحدى المعادلتين التاليتين :

$$K = \left(\sum_{n=1}^{n=m} Kn^2 \right)^{\frac{1}{2}} \qquad ...(53)$$

حيث ان (m) هو عدد اطوار الحركة المأخوذة بنظر الاعتبار (في ثلاثة حدود) .



شكل (٢٢) منحنيات لاستخراج المعامل الزلزالي حسب طريقة امبريزي

(From Ambraseys, 1960 b)

أما التعجيل (Sa) فيؤخذ من طيف التعجيل (Acceleration spectrum) للموقع تحت الدراسة • وفي حالة عدم توفر مثل هذا الطيف فقد اقترح أمبريزى حلا بديلا • ففي هذه الحالة افترض أمبريزى بأن السد (تحت تأثير قوى الاخماد) يتجاوب خلال الطور الاول من حركته وبدورة كاملة (Full Cycle) مع مركبة التعجيل للحركة الارضية وبمقدار يساوى التعجيل الزلزالى الاقصى (PGA) بموجب خرائط الاحتمالات الزلزالية • وتسمى هذه الطريقة في التصميم بطريقة الرنين (Resonance Design Method) • وقد بين أمبريزى بأن الاحتمالات ضئيلة جدا في تجاوب السد لاكثر من دورة واحدة مع الحركة الارضية وبصورة متوالية وبنفس فترة الطور الاساسي لتلك الحركة وبصورة عمودية على محوره وبنفس التعجيل الاقصى للمنطقة • وان وقوع كافة هذه الامور في لحظة واحدة يعتبر أمرا في غاية الندرة •

مما سبق أفترض أمبريزى امكانية استبدال Sa بالمقدار $\bar{S}(\lambda)$.(PGA)

حيث أن $\bar{S}(\lambda)$ هو معامل التكبير (Magnification factor) • وقد وجده أمبريزى كدالة لمعامل الاخماد لمادة السد (λ) وبموجب الجدول التالي :

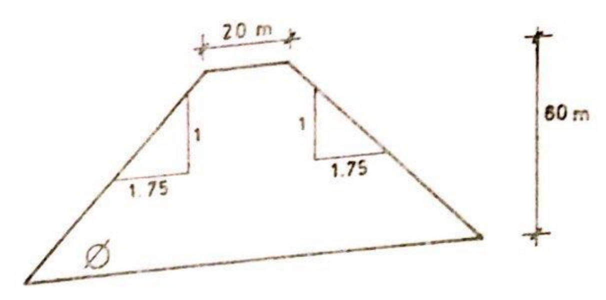
جدول رقم (١٣)

قيم معامل التكبير نسبة الى معامل الاخماد

(λ)	0	5%	10%	15%	20%	25%	30%
$\bar{S}(\lambda)$	3.14	2.75	2.34	2.12	1.80	1.63	1.40

ويمكن توضيح الطريقة التي اقترحها أمبريزى بمثال حسابي لسد ارتفاعه يساوى (٦٠) متر وعرضه من الاعلى يساوى (٢٠) متر والانحدارات المنحدرين الامامي والخلفي تساوى (١,٧٥ : ١) ، حيث يدرج الجدول (١٤) نتائج الطريقة ، بينما يوضح الشكل (٢٣) تغيير المعامل الزلزالي في المناسيب المختلفة من السد •

أما امبريزى وسارما (١٩٦٧) (Ambraseys and Sarma, 1967) فقد أوضحا العوامل المؤثرة على المعامل الزلزالي وهي فترة التردد الاساسي للسد (T_0 = 2.61 H/S) ومعامل الاخماد وطبيعة الحركة الارضية وذلك من دراسة العديد من التسجيلات لهزات أرضية مهمة وخاصة هزة (السنترو) • وقد أيدا ما توصل اليه الباحثون سابقا حول ازدياد التعجيل المؤثر على نقطة ما في السد بارتفاع وموقع تلك النقطة في جسم السد (انظر الشكل رقم ٢٤) • وأوجدا كذلك بأن هذا التعجيل بصورة عامة يفوق تعجيل الحركة الارضية نفسه بنسبة أسمياها نسبة التكبير (Magnification Ratio) • وقد تمكنا من رسم العلاقة البيانية لنسبة التكبير هذه وفترة التردد الاساسي لاهتزاز جسم السد وعلى الارتفاعات المختلفة للسد •

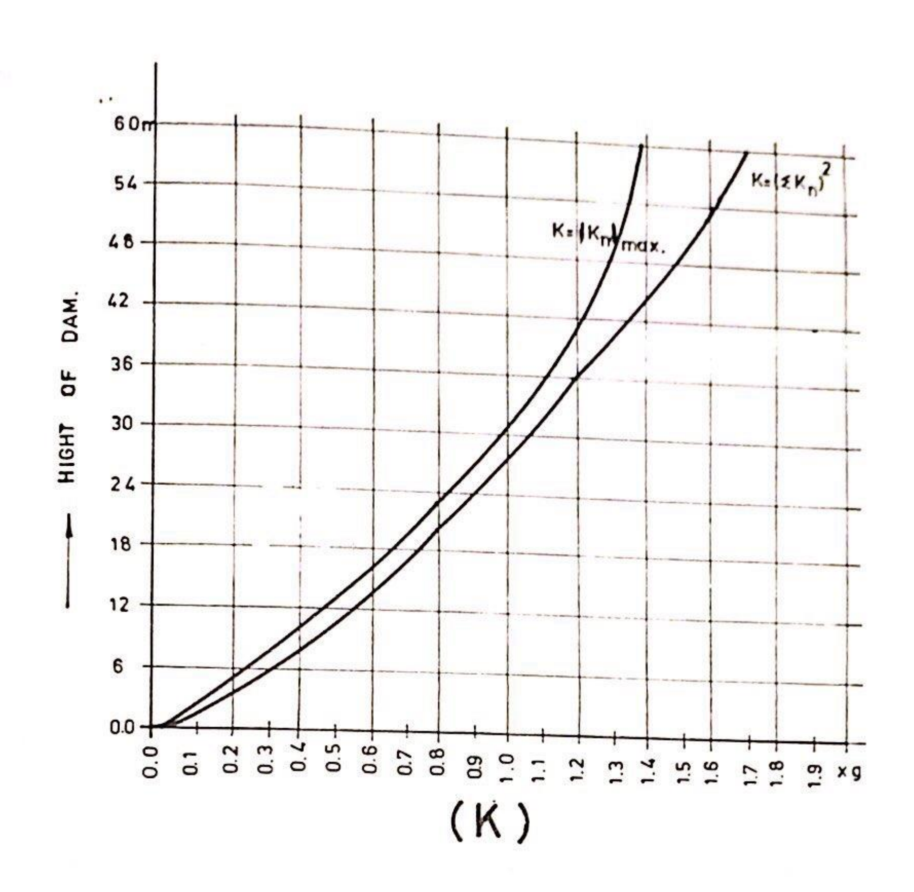


$\tan \varnothing = 0.5714$

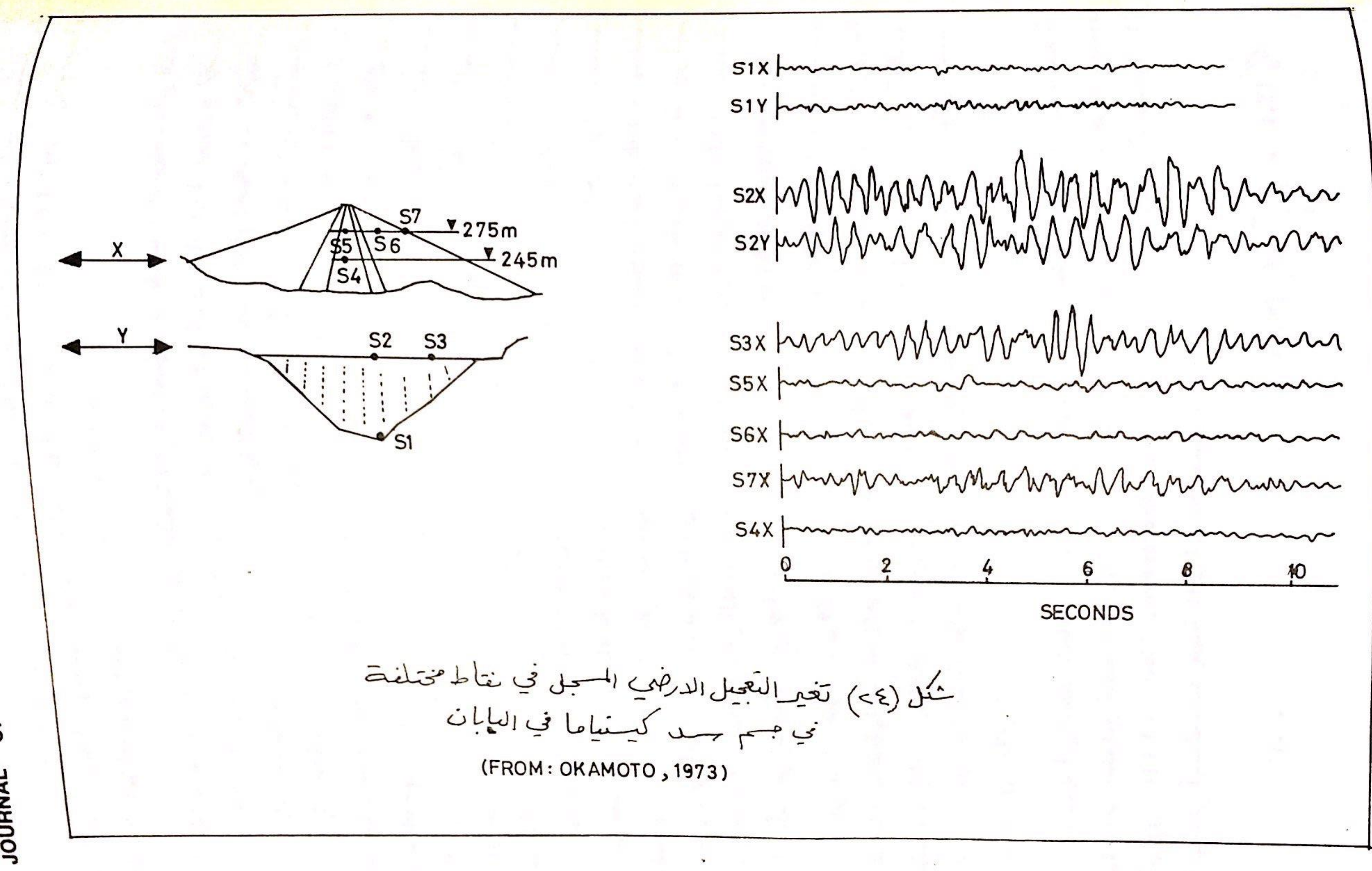
$$K = \frac{b.\tan \phi}{D + b.\tan \phi} = \frac{20 \times 0.5714}{60\ 20\ 0.5714} = 0.16$$

K^* 0.16	a_1^* 2.51	a_2^* 5.97	a_3^* 9.66					
	W_{01}	W_{02}	W_{03}					
	$2.11 (\frac{S}{D})$	$5.01 (\frac{S}{D})$	$8.11 (\frac{S}{D})$					
W_{0n}	$4.45 (\frac{S}{D})^2$	$25.10 (\frac{S}{D})^2$	$65.77 (\frac{S}{D})^2$	K_1	K_2	K_3	$K_r = \left[\sum_{n=1}^{n=3} K_n^2\right]^{\frac{1}{2}}$	$K = \left[K_n\right]_{max}$
$\frac{Y}{D}$	A_1	A_2	A_3					
0.0	0.330	0.035	0.005	1.4685	0.8785	0.3288	1.74	1.47
0.1	0.325	0.033	0.005	1.4462	0.8283	0.3288	1.70	1.45
0.2	0.315	0.003	0.001	1.4017	0.0753	0.088	1.41	1.40
0.3	0.315	0.015	0.000	1.2683	0.3765	0.000	1.29	1.27
0.4	0.260	0.005	0.005	1.1570	0.1255	0.3288	1.23	1.18
0.5	0.220	0.010	0.005	0.9790	0.2510	0.3288	1.04	0.98
0.6	0.175	0.015	0.003	0.7788	0.3765	0.1973	0.89	0.78
0.7	0.125	0.015	0.000	0.5582	0.3765	0.000	0.67	0.56
0.8	0.087	0.015	0.005	0.3871	0.3765	0.3288	0.63	0.39
0.9	0.040	0.010	0.005	0.1780	0.2510	0.3288	0.45	0.33
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

جدول رقم (١٤) مثال يوضح طريقة امبريزى لاحتساب المعامل الزلزالي (K) لمناسيب مختلفة من السد ٠



شكل (٢٣) - تغيير المعامل الزلزالي حسب ارتفاع السد للمثال السابق



شكل (٤٢) تغير التعجيل الارضي المسجل في نقاط مختلفة
في جسم سد كيسنياما في اليابان

(FROM: OKAMOTO, 1973)

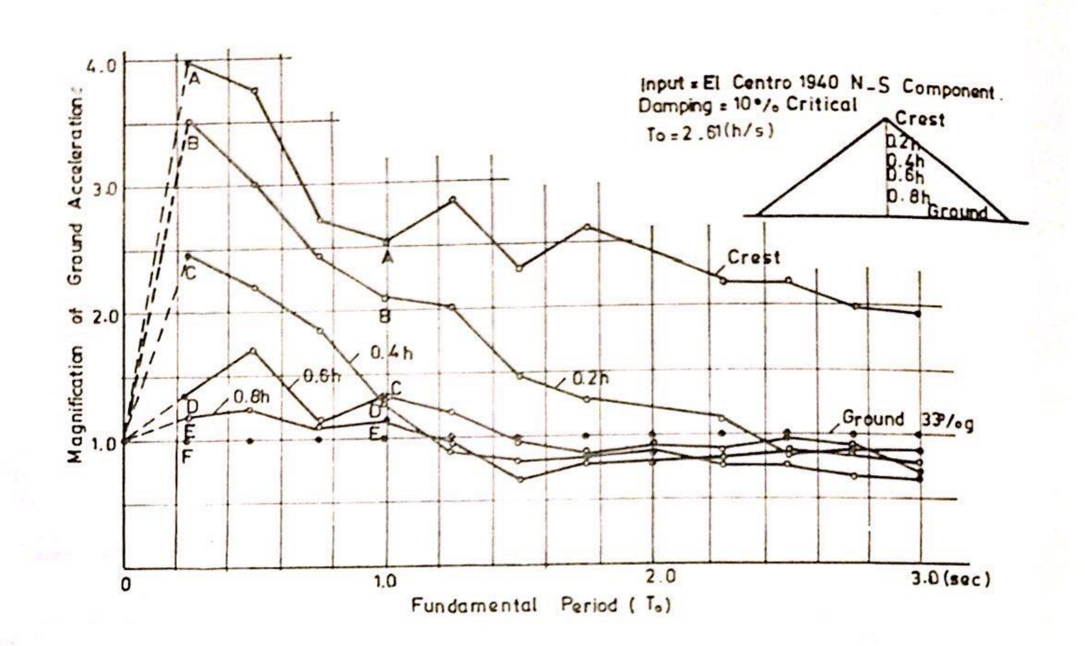
هـذا ويـبين الشكل (٢٥) العلاقـة البيانية لنسبة التكبير لهزة (السنترو) (المركبـة الشمالية ـ الجنوبية) وبمعامل اخماد (١٠٪) كما أن الشكلين (٢٦) ، (٢٧) يعطيان هـذه العلاقـة البيانية لمعاملتي اخماد (٢٠٪) و (٤٠٪) .

وكما يبدو لاول وهلة فأن المشكلة الرئيسية التي قد تعترض تطبيق هذه الطريقة لاغراض التصاميم هو التنبوء بخواص الهزات الارضية المستقبلية التي قد يتعرض لها السد . الا أن (امبريزي وسارمـا) وجدا من دراسة تسجيلات العديد من الهزات الارضية المهمة بأن الشكل العام لاطياف نسبة التكبيـر لهذه الهزات متشابه وان اختلفت القيم المطلقة للتعجيل الاقصى بها ، لذا فقد تمكنا من رسم مجموعة من المنحنيات تمثل المعدل لتغير نسبة التكبيـر هذه ولمعامل أخماد (٢٠٪) . كما تمكنا من ايجاد منحنيات لتصحيح القيم هذه لمعاملات الاخمـاد الاخرى كما في شكل (٢٨) و شكل (٢٩) ، لـذا وعلى اعتبار ان طبيعـة الهزات المستقبلية مشابهة لطبيعة الهزات الارضية التي درست فأنه يمكـن استعمال هذين الشكلين لاغراض التصاميم والدراسات . وهنا تجدر الملاحظة بأن الشكل (٢٨) يعطينا قيم نسبـة التكبير الحاصلة على ارتفاعات السد المختلفة . الا ان هذه القيم لا تحصل بالضرورة كلهـا في آن واحد خلال الهزة الارضية . كما ان هذه القيم لا تبين اتجاه التعجيل أى بمعنى ان التعجيـل في مستوى معين قد يكون باتجاه ما ، بينما يكون في المستوى الاخر في الاتجاه المعاكس في نفـس اللحظـة ، لذلك فأن استعمال هذه المنحنيات لايجاد تغير التعجيل لجزء كبير من السد قد يعطينـا قوى قصـوى ذاتي أكبر من الواقع وقد يقودنا الى صورة تختلف تماما عن ما هو حاصل فعلا ، لذا ومن أجـل استعمال هذه المنحنيات لاغراض التصاميم يجب أن يكون الجزء المدروس صغير جدا . كما أن ليـس هناك أى بأس من استعمالها في تصاميم السدود الصغيرة أو في تصاميم منشات صغيرة ضمن السـد .

لتلافي هذا النقص الخطير فقد عمدا امبريزي وسارما للاستفادة من النتائج التي حصلا عليهـا والتي شرحناها بتطبيقها على اجزاء صغيرة من السد أو شرائح بشكل مشابه لطرق تحليل الاستقراريـة الستاتيكيـة ، وذلك بأن يفترض أولا سطح الانزلاق المحتمل كما في هذه الطرق وقد يكون في الغالـب قوسيا ثم يقرّب شكل هذا السطح بواسطـة خطوط مستقيمة وبعدها تقسم الكتلة المعرضة للانزلاق التـي تم تحديدها الى شرائح .

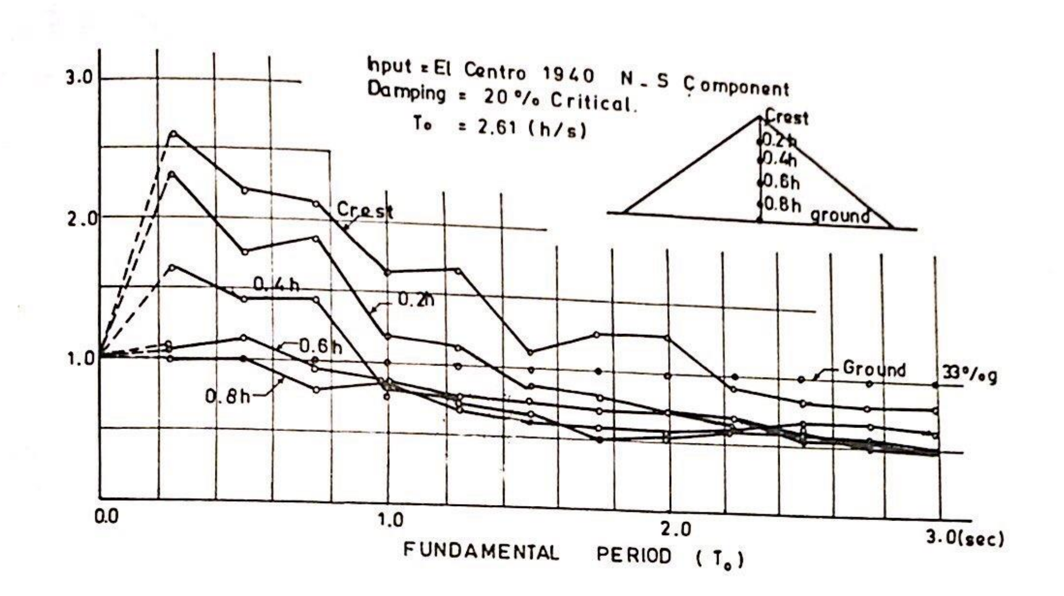
فلو نظرنا الى الحالة الخاصة في شكل (٣٠) ، حيث أن الكتلة المنزلقة تمر بهامة السـد وأن قاعدتها تقع في مستوفوق أسسه فأنه يمكن دراسة احتمالات انزلاق هذه الكتلة بالاعتماد على ما توصـل اليه أمبريزي (١٩٦٠) (Ambraseys, 1960) من أن التعجيل الافقي المطلق في أى منسـوب (Y) تحت الهامة في أيـة لحظـة زمنيـة خلال الهـزة يساوى :

$$U''_a (Y,t) = \sum_m \phi_n (Y) . Sa_n \qquad ...(55)$$



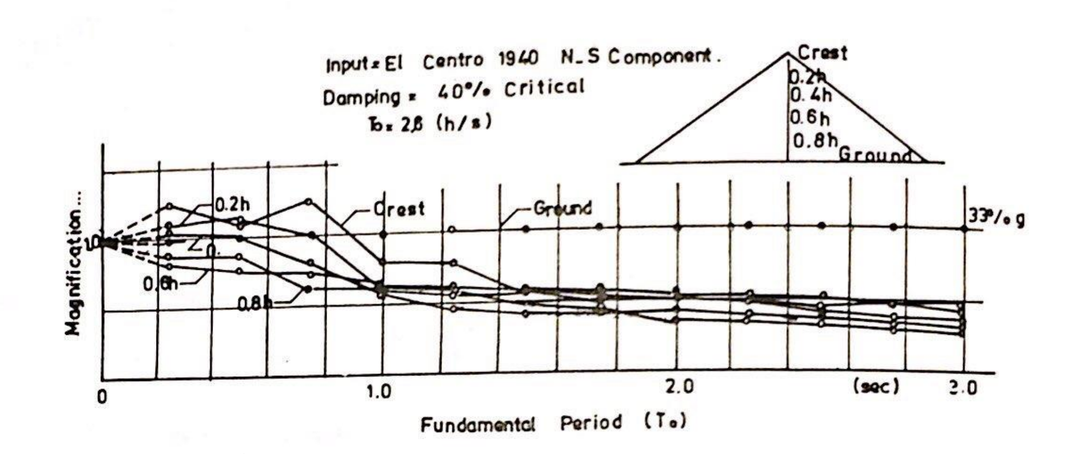
شكل (٢٥) تغيير نسبة التكبير (للمركبة الشمالية ـ الجنوبية) في هزة السنترو مع فترة التردد للطور الاساسي (بمعامل اخماد ١٠٪) •

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



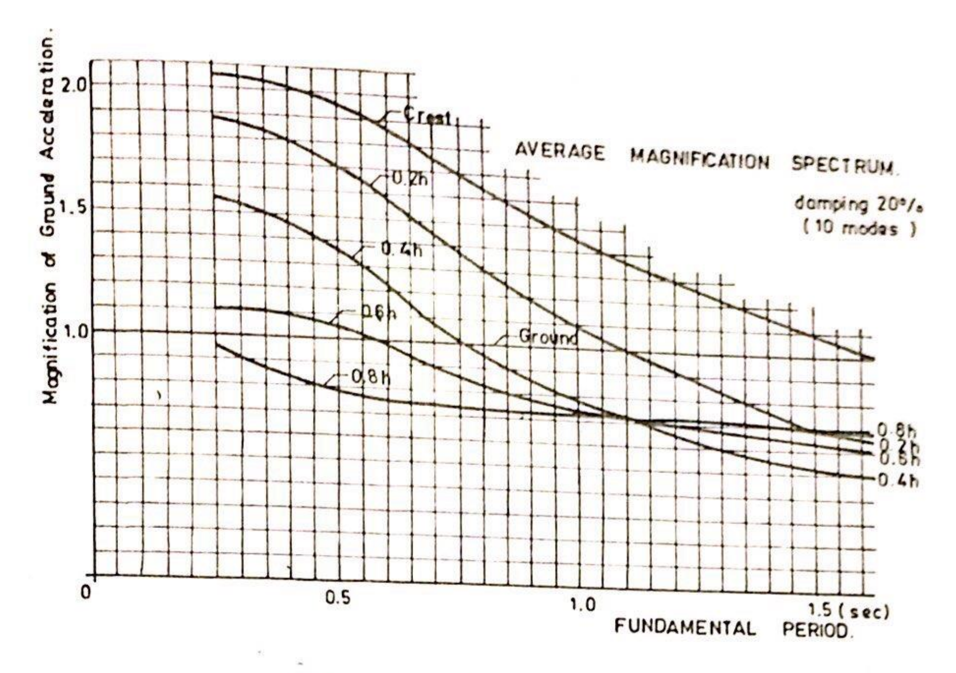
شكل (٢٦) تغيير نسبة التكبير (للمركبة الشمالية ـ الجنوبية) في هزة السنترو مع فترة التردد للطور الاساسي (معامل اخماد ٢٠٪) .

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



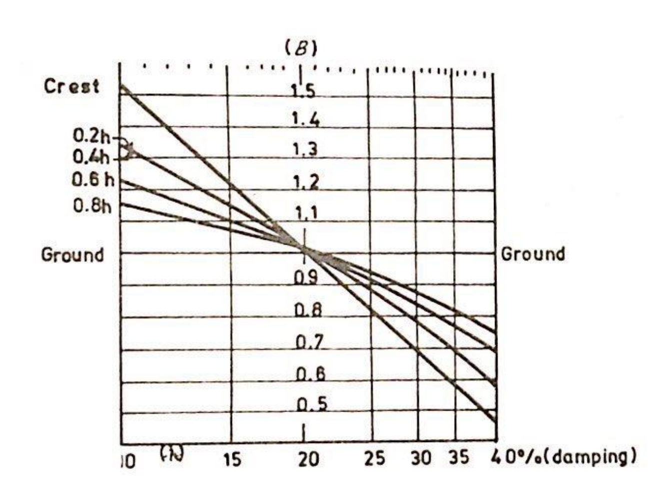
شكل (٢٧) تغيير معامل التكبير (للمركبة الشمالية ــ الجنوبية) في هزة السنترو مع فترة التردد للطور الاساسي (معامل اخماد ٤٠ ٪).

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



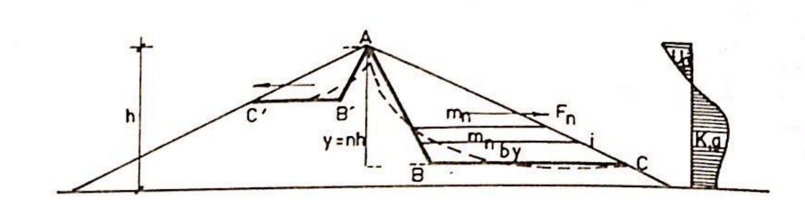
شكل (٢٨) معدل طيف التكبير (معامل اخماد ٢٠٪) •

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل (٢٩) منحنيات تصحيح القيم لمعاملات الاخماد المختلفة لشكل (٢٨)•

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل (٣٠) . حالة الانزلاق لكتلة مارة بقمة السد وقاعدتها في مستوى فوق مستوى الأسس

(From Ambraseys and Sarma, 1967)

حيث ان المعادلة (55) انما هي شكل اخر من المعادلتين (52) و (53) مندمجتين معا • وأن $\emptyset_n$ (Y) هي دالة للابعاد الهندسية للسد و (S_{an}) دالة لخواص المرونة للسد وخواص اخمادها للحركة اضافة الى التغير الزمني لتعجيل الحركة الارضية •

ويمكن احتساب تعجيل كل شريحة • فالشريحة (i) ذات الكتلة (m_i) تكون ذات تعجيل ($K_i g$) • وان القوة المؤثرة على هذه الشريحة ستكون ($m_i K_i g$) • أما القوة الكلية (F_n) المؤثرة على الكتلة المنزلقة في لحظة ما فتكون مجموع كافة القوى المؤثرة على كافة الشرائح •

حيث أن :

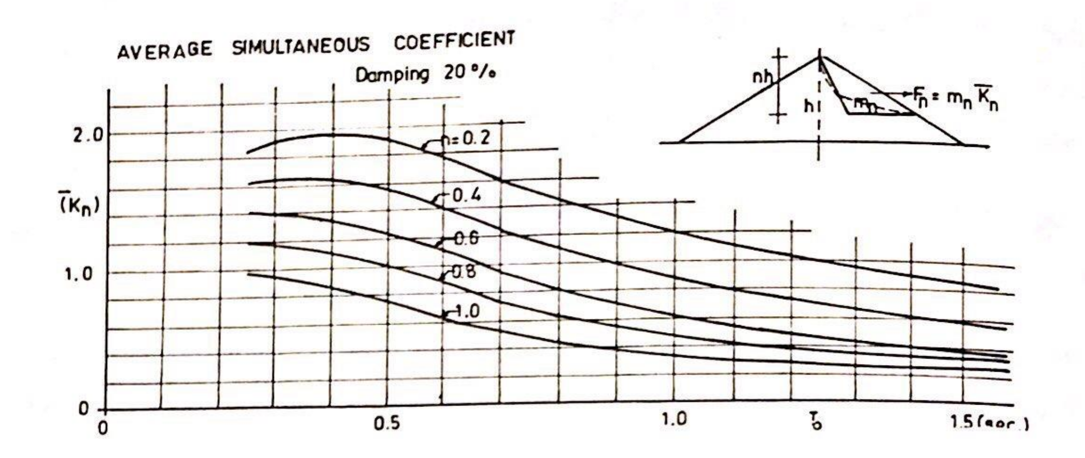
$$F_n = \sum_{i=o}^{n} K_i\, m_i\, g = \bar{K}.g_{max} \sum_{i=o}^{n} m_i$$

أى أن :

$$\bar{K}_n = \frac{\sum_{i=o}^{n} K_i\, m_i\, g}{g_{max} \sum_{i=o}^{n} m_i} \qquad ...(56)$$

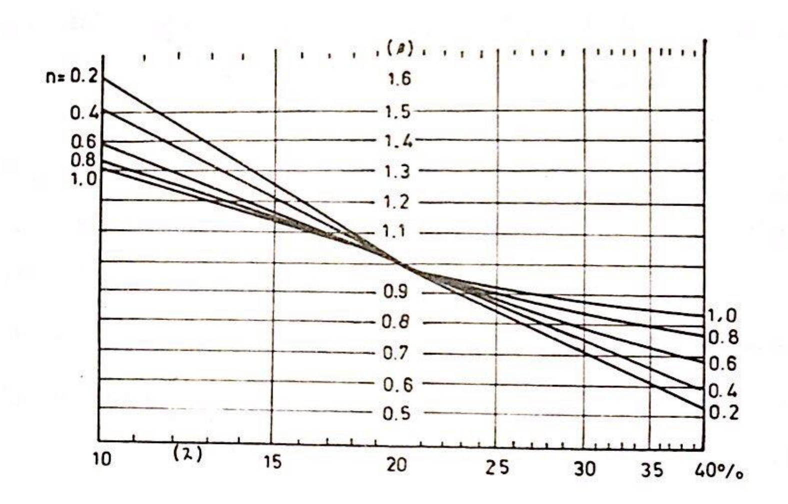
حيث أن ($\bar{K}_n$) هو معدل المعامل الزلزالي الآني المؤثر على كتلة الانزلاق برمتها و (g_{max}) هو التعجيل الاقصى المصاحب للحركة الزلزالية •

باستعمال هذه الطريقة ولعدة هزات أرضية تمكنا امبريزى وسارما من رسم منحنيات تمثل تغير معدل المعامل الزلزالي الآني لاستعماله في حسابات استقرارية الكتل المنزلقة للحالة الخاصة التي ذكرناها • راجع شكل (٣١) وشكل (٣٢) • ان الحالة العامة لشكل كتلة الانزلاق تتمثل بالشكل (٣٣) ، حيث لا يشترط مرور سطح الانزلاق بهامة السد كما أنه قد يمر من خلال أسس السد • وتحدد المتغيرات (θ) ، (Ø) ، (n) شكل سطح الانزلاق كما يحدد (m) انحدار السد • ولجعل المسألة أسهل للحل فقد أوجدا الباحثان تغير ($\bar{K}_n$) بجعل (1:1.25 = m) وجعل (Ø) تساوى (٤٥^o) وكما في الشكل (٣٤) •



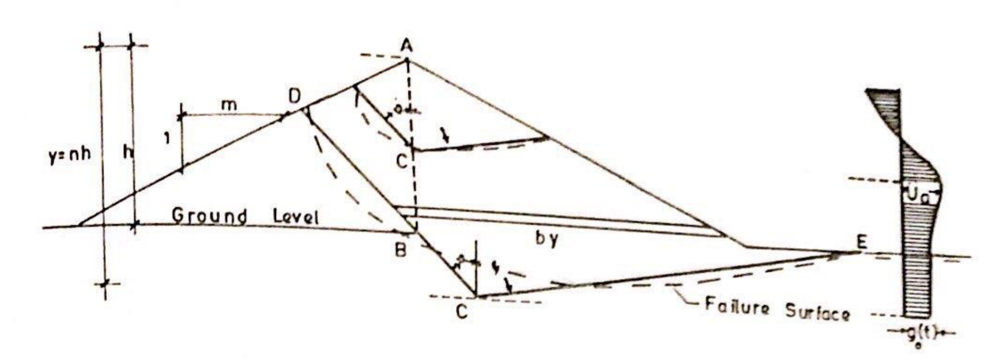
شكل (٣١) معدل المعامل الزلزالي الاني (معامل الاخماد ٢٠٪) ٠

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



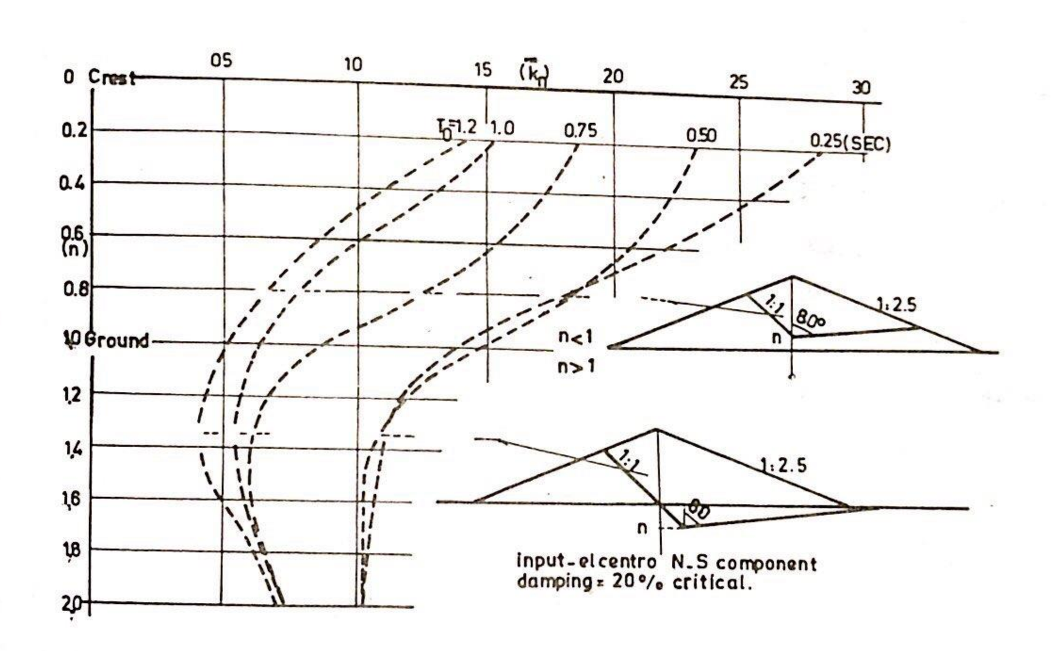
شكل (٣٢) منحنيات تصحيح القيم لمعاملات الاخماد المختلفة لشكل (٣١)٠

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل (٣٣) الحالة العامة للانزلاق .

(From Ambraseys and Sarma, 1967)



شكل (٣٤). تغير معدل المعامل الزلزالي الآني للكتلة المنزلقة مع

فترة التردد الأساسي و (n). (m = 1:2.5 ، θ = ٤٥)

(From Ambraseys and Sarma, 1967)

وبالطبع فأن قيمة المعامل الزلزالي الآني الذى نحصل عليه من المنحنيات التي أشرنا اليها سواء للحالة العامة أو للحالة الخاصة ، انما هي قيمته في لحظة معينة • فلا بد اذن من تدقيق وضعية الاستقرارية خلال المجال الزمني الكامل للهزة لغرض التوصل الى أسوأ الوضعيات بالنسبة للاستقرارية ، ويتم ذلك باعادة التحليل بأخذ فترات زمنية متتالية واجراء التحليل مجددا وهذا يعني عدد كبير من الحالات وحجما كبيرا من الحسابات • الا أن توفر برامج للحاسبة الالكترونية قد جعل الامر ممكنا •

وفي ختام هذا العرض لابد لنا من التطرق الى مساوىء طرق التحليل الخاصة بالتجاوب (اللزج المرن) ويمكن خلاصتها بما يلي :

- تفترض معظم هذه الطرق ضمنيا بأن أقصى قيمة للمعامل الزلزالي في أى عمق تتوافق مع أقصى قيمة للمعامل المذكور في الاعماق الاخرى • وهذا غير صحيح ، حيث ان هذا التوافق غير موجود ، كما أنه قد يحصل بأن اتجاه التعجيل في منسوب ما معاكس لاتجاه التعجيل بالمنسوب الاخر ، لذا فأن قوى القصور الذاتي المحتسبة بهذه الطريقة قد تكون أعلى من الواقع أو قد تكون مغايرة بدرجة كبيرة •

- ان استعمال المعامل الزلزالي المحسوب بهذه الطريقة يقود عادة الى الاعتقاد الخاطىء بأن معامل الامان اذا ما قل عن (واحد) فأن السد سوف ينهار • الا أن واقع الحال لا يكون كذلك • فكون قوى القصور الذاتي قوى ديناميكية بطبيعتها يعني امكانية أن يقل معامل الامان عن (واحد) في لحظة ما الا أن السد لن ينهار طالما كانت المطاوعة النسبية المتراكمة تقل عن المطاوعة النسبية اللازمة لفقدان مادة السد لمقاومتها الستاتيكية •

- ان أى من طرق التجاوب التي شرحناها والتي تفترض بأن السد مكون من شرائح لها نواقص تبعدها عن واقع الحال • فافتراض تجاوب السد للحركة الارضية ناتج عن قوى القص بين الشرائح فقط غير صحيح ، حيث ثبت بأن هناك قوى اخرى تنتج عن الحركة الافقية تنجم من المطاوعة بالانضغاط عموديا ، وكذلك من الشد • وان ذلك يؤدى الى تغير الشكل المعلم للاجهادات • كما ان هذا الشكل من التحليل يأخذ بعين الاعتبار الاهتزاز الافقي فقط من الحركة الارضية ، بينما يهمل تماما تأثير الاهتزاز العمودى •

٣٠٥ التحليل الديناميكي (بصورة عامة) (Dynamic Analysis - General)

لابد لنا في البدء من أن ننوه بأن الاسلوب شبه الاستاتيكي كونه يعامل الاستقرارية وكأن القوى المؤثرة في حالة سكون فأنه في نفس الوقت يعامل صفات وخواص المواد المكونة للسد أو المنحدر ومقاومتها لنفس حالة السكون هذه • وهذا ماينتقد عليه الاسلوب المذكور • ففي الحركة

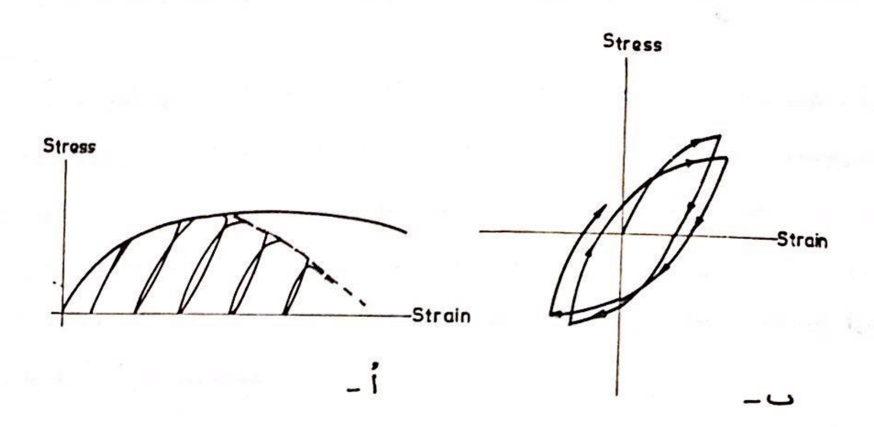
الاهتزازية الناتجة عن الحركة الارضية وخلال الهزة تتغير قيمة الاجهادات كما في شكل (٣٥أ) • كما قد تتغير قيمة واتجاه الاجهادات كما في شكل (٣٥ ب) • ويكون النبض والتناوب بالاجهاد (Pulsation and Reversal) سريعا في المادة • وطالما كانت المطاوعة صغيرة نسبيا في الكثير من الترب يكون المنحني الحدودي (Boundary Curve) للعلاقة بين المطاوعة والاجهاد النابض هو نفسه وكأن الاجهاد مضاف لمرة واحدة فقط • الا أننا نرى في بعض الترب الاخرى وبعد الوصول الى مطاوعة معينة بأن المنحني المحدد للاجهاد يغير اتجاهه نحو الاسفل ويبدأ بالانخفاض كما في الشكل (٣٥أ) (المنحني المنقط) • وهذا يعني بأن مقاومة التربة تنخفض نتيجة لنبض الاجهاد المستمر • وينتج نفس الشيء في حالة تغير اتجاه الاجهاد المتكرر والمستمر ، حيث تكون مقاومة التربة بعد عدد من النوبات أقل من مقاومتها الاصلية •

ان من الامثلة الواقعية التي تثبت بأن مقاومة التربة الفاعلة خلال الهزة الارضية هي مختلفة عن قيمتها تحت تأثير القوى الستاتيكية وانها دالة للتغير الزمني للاجهادات المؤثرة خلال الهزة هو ما حصل للعديد من المنحدرات الطبيعية في الكورج خلال هزة الاسكا (١٩٦٤) • ان انهيار هذه المنحدرات لم يحصل الا بعد دقيقتين من بداية الحركة الارضية أي بعد تحقق التعجيل الاقصى للهزة ببعض الوقت • وهذا يعني بأن التربة قد فقدت مقاومتها بصورة تدريجية خلال الهزة الارضية نتيجة للانخفاض التدريجي في مقاومة التربة ولتراكم الازاحات • وتظهر الفحوصات المختبرية صحة هذا الاستنتاج ، لذا يعتبر فحص التحميل الثلاثي المتكرر (Cyclic Triaxial Loading Test) من الفحوصات المختبرية المهمة لمحاكاة الوضعية الحقيقية في الحقل ويعطينا معلومات تقارب الواقع عند تعرض التربة للقوى الديناميكية •

ان اسلوب التحليل الديناميكي يأخذ بعين الاعتبار التغير الحاصل في خواص ومقاومة مواد السد أو المنحدر نتيجة للتأثيرات الديناميكية للقوى المؤثرة • كما أنه يأخذ بالحسبان التأثيرات على ضغط الماء المسامي ، اضافة الى تغير حجم المساميات وحتى كثافة المادة •

وكما بينا سابقا فأن قوى القصور الذاتي خلال الهزة الارضية في بعض أجزاء السد أو المنحدر قد تبلغ من الشدة بحيث ينخفض معامل الامان في تلك الاجزاء الى أقل من (واحد) • ولكن للحظات قصيرة تحصل خلالها ازاحات دائمية الا انها تتوقف حال توقف التعجيل المؤثر أو تغير اتجاهه • ويكون التأثير التراكمي لسلسلة الازاحات هذه ، ازاحة تراكمية لمقطع من مقاطع السد • ولن تحصل أية ازاحة اضافية اللهم الا اذا ما كانت الازاحة الكلية أكثر من الازاحة التي يمكن للمقطع تحمله في حالة السكون حيث يتتابع الفشل بانزلاق أو تمييع ذلك الجزء ، ومن ثم الاجزاء الاخرى •

لذا نرى بأن مقدار الازاحة الناتجة عن الهزة الارضية تعتمد على التغير الزمني لقوى القصور الذاتي • وان الطريقة المنطقية في التحليل تقتضي ما يلي :ــ



شكل (٣٥) علاقة (الجهد - المطاوعة) تحت تأثير النبض والتناوب بالجهد

- معرفة التغير الزمني التعجيل وبالتالي ايجاد التغير الزمني للاجهادات الناتجة من حركة أرضية معينة تؤثر في قاعدة السد •

- تعريض نماذج من التربة في المختبر لنفس تتابع الاجهادات وقيمها والتي تم ايجادها من الخطوة السابقة • ودراسة خواص مادة هذه النماذج ومقاومتها تحت هذا الشكل من اشكال التحميل •

- تخمين الازاحات المتوقعة في السد نتيجة لهذه القوى • وذلك من نتائج الخطوتين السابقتين •

لقد تمكن سيد ومارتن (١٩٦٦)(Seed and Martin, 1966) باستعمال شرائح افقية واعتماد قوى القص (Shear Slice Analysis) من ايجاد تغير التعجيلات وبالتالي الاجهادات الناتجة على طول سطوح الانزلاق المحتملة خلال الهزة الارضية • وقد أمكن بواسطة التكامل احتساب توزيع قوى القصور الذاتي المؤثرة في الفترات المختلفة من الهزة على كتل الانزلاق المحتملة المختلفة • وبذلك أمكن بهذه الطريقة ايجاد تأثير الحركة الارضية للهزة كدالة للتغير الزمني للتعجيل في الاجزاء المختلفة من السد •

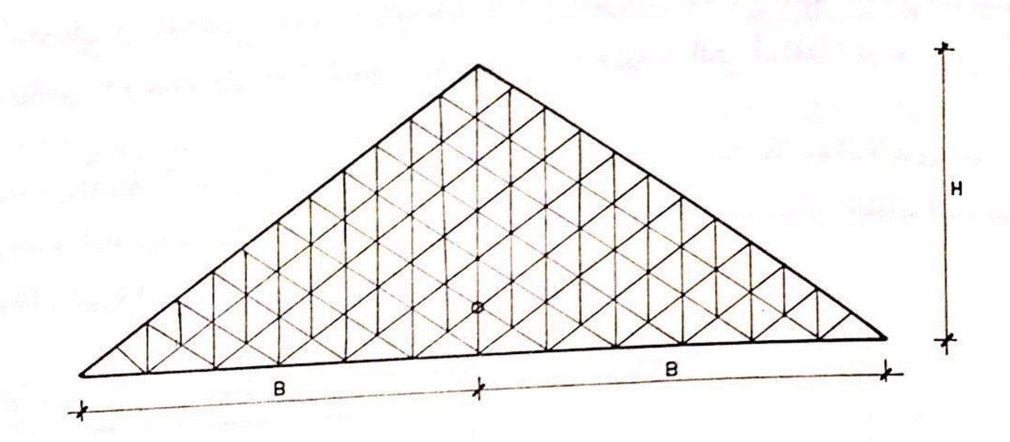
ان التطور الكبير في أسلوب التحليل الديناميكي قد جاء نتيجة لاستعمال طريقة القطع المحددة (Finite Elements) • حيث طبقت لاول مرة من قبل كلوف وجوبرا (١٩٦٦) • (Clough and Chopra, 1966) ففي هذه الطريقة يمكن تصور السد وكأنه مكون من شبكة مترابطة من القطع المحددة المرتبطة مع بعضها البعض في عقد (Nodes) كما في شكل (٣٦) • ويمكن دراسة تغيرات خواص السد والاجهادات فيه والازاحات بدراسة مايحدث في هذه العقد وكما سنقوم بشرحه • نلاحظ في هذه الطريقة ما يلي :-

- تسمح هذه الطريقة ببيان كيفية نشوء وتطور قوى القص والانضغاط والشد كافة خلال الاهتزاز •

- امكانية أخذ تأثير المركبتين الافقية والعمودية للتعجيل بنظر الاعتبار •

- امكانية دراسة أي مقطع كان من السد بهذه الطريقة اضافة الى امكانية دراسة منظومة (السد والاساس) معا •

- يمكن لهذه الطريقة ان تعطينا التغير الزمني الكامل للازاحات والسرع والتعجيلات والمطاوعة والاجهادات في كافة العقد من الشبكة • وكلما كانت الشبكة ذات قطع أصغر كلما كان عدد العقد أكبر • وبذلك يمكن معرفة قيمة المتغيرات في عدد أكبر من النقاط في جسم السد • في



شكل (٣٦) شبكة القطع المحددة لمقطع سـد .

المناطق ذات الاهمية الخاصة من جسم السد يمكن تكثيف عدد القطع والحصول على صورة أدق من هذه المعلومات •

- ان هذه الطريقة تعطينا الاجهادات والازاحات الحقيقية في السد وليس معامل امان كعدد مجرد قد لايعني شيئا في ضوء ما يمكن لمواد السد من تحمله عن اجهادات وازاحات •

٣٠٦ التحليل الديناميكي (خواص المواد) (Dynamic Analysis-Material Properties)

في استعمال طريقة القطع المحددة يتم تمثيل الواقع الفيزياوي للسد وأسسه والقوى المؤثرة عليه بنموذج رياضي • ونتيجة حل هذا النموذج يتم ايجاد المتغيرات التي أسلفنا ذكرها •

ولا بد من تعريف المعلومات الداخلة بهذا النموذج (Input) بواسطة معادلات رياضية خاصة • ومن هذه المعلومات خواص المواد البدائية (الستاتيكية) ، وكذلك خواص المواد الديناميكية (وكيفية تأثرها بالهزة) وسوف نتتبع فيما يلي شرح هذه الامور •

خواص المواد البدائية (الستاتيكية) (Static Properties)

لابد لنا في بداية التحليل من أخذ السد قبل تعرضه للهزة الارضية ودراسة الخواص البدائية للمواد المكونة له وتغير هذه الخواص خلال فترة الانشاء وعند املاء الخزان •

أما الخواص ذات العلاقة فهي : الكثافة الابتدائية (ρ_o) ، نسبة الفراغات الابتدائية (Initial Void Ratio e_o) ، معامل المرونة الستاتيكي (E) اضافة الى نسبة بوسون الستاتيكية (ν) وتقاس هذه القيم عادة موقعيا خلال فرش وحدل التربة في فترة الانشاء ويمكن اعتمادها للسدود المماثلة تحت الدراسة •

ولقد جرت العديد من الدراسات على سدود أثناء فترة الانشاء ، حيث تم قياس الهبوط (Settlement) وتم ربط ذلك بزيادة الاحمال المضافة خلال فترة الانشاء •

فقد أوجد ماتسوى (١٩٧٣) (Matsui, 1973) العلاقة بين الاجهاد العمودى ومطاوعة الهبوط (Settlement Strain) عن طريق القياس الفعلي في العديد من السدود تحت الانشاء اضافة الى نتائج الفحوصات المختبرية في فحوصات الانضغاط الثلاثي • وقد وجد بأن قيمة (E) و (ν) تخضعان للمعادلتين العامتين التاليتين :

$$E = A.\sigma_y^B \qquad ...(57)$$

$$\nu = C + \frac{F}{\sigma_y + D} \quad ...(58)$$

حيث أن :

$\sigma_y =$ الاجهاد العمودي

$A, B, C, D, F =$ معاملات ثابتة

ان قيم المعاملات الثابتة وبموجب الحالات العديدة التي درسها ماتسوى مدرجة في جدول (١٥) .

جدول رقم (١٥) خواص المواد البدائية

المتغير الستاتيكي / المادة	E (kg/cm²)		ν			ρ_o	e_o	C	ø
	A	B	C	D	F	g/cm³		kg/cm²	degree
القشرة الحصوية	190	0.131	0.30	0.943	0.075	2.0	0.35	0.45	41.5
المرشحات	205	0.213	0.34	0.825	0.074	1.9	0.37	1.25	38.4
اللب	218	0.312	0.37	0.669	0.073	1.9	0.39	1.30	38.9

من المعادلتين اعلاه ومن القيم المبينة في الجدول ، نرى ان بالامكان ايجاد معامل المرونة ونسبة بوسون في أي مستوى من السد . كما يبدو واضحا ان هاتين الخاصتين تتغيران حسب المنسوب نتيجة لتغير الاجهاد العمودي .

خواص المواد الديناميكية (Dynamic Properties)

ان الخواص التي تهم البحث في الوضعية الديناميكية ثلاثة وهي : معامل المرونة الديناميكي ونسبة بوسون الديناميكية (E) اضافة الى معامل الاخماد (λ) . وقد أمكن ايجاد العلاقة الرياضية الممثلة لمعامل المرونة باستعمال طرق المسح الزلزالي لسدود منفذة ، حيث تمكن

ساوادا (١٩٧٥) (Sawada, 1975) ومن المسح الزلزالي للعديد من السدود المنفذة في اليابان من ايجاد العلاقة بين توزيع سرعة الموجة المستعرضة وعمق النقاط داخل جسم السد •كما وجد بأن نسبة الاجهاد من الرئيسيين (σ_1 / σ_2) (Principal Stresses) لهذه السدود ثابتة تقريبا وتتراوح بين (٢) و (٥) •وقد اقترح بأن تكون القيمة في المعدل (٣) •كما وجد هارادا (١٩٧٧) (Harada, 1977) بأن ثقل عمود التربة في اللب لا يظهر بصورة كاملة كضغط وانما حوالي (٧٠٪) منه فقط يظهر كضغط • ومن ثم كأجهاد (σ_1) ويربط كافة هذه الامور معا ونتيجة لفحوص التحميل الثلاثية الديناميكية فقد تم ايجاد العلاقتين التاليتين :

$$E = J \frac{(2.97 - e)^2}{1 + e} \frac{K}{K + \rho} (\sigma'_m)^L \qquad ...(59)$$

$$E_t = J \frac{(2.97 - e)^2}{1 + e} \left(\frac{K}{K + \rho}\right)^2 (\sigma'_m)^L \qquad ...(60)$$

حيث أن :

$E =$ معامل المرونة الديناميكي (الانضغاط)

$E_t =$ معامل المرونة الديناميكي (القص)

$J, K, L =$ معاملات ثابتة

$e =$ نسبة الفراغات (Void Ratio)

$\rho =$ الكثافة

$\sigma'_m =$ الاجهاد المؤثر ويساوي ($\sigma_1 - \sigma_2$)

أما نسبة بوسون فقد وجدت بأنها تتبع العلاقة التالية :

$$\nu = (M - N) Z^P \qquad ...(61)$$

حيث أن :

$M, N, P =$ عوامل ثابتة

$Z =$ العمق من قمة السد

أما معامل الاخماد فقد وجد بأنه يتبع العلاقة التالية :

$$\lambda = Q \cdot \frac{\rho}{K+\rho} + R \qquad \ldots(62)$$

حيث أن :

$K =$ معامل ثابت سبق تعريفه

$\rho =$ الكثافة وقد سبق تعريفها

$Q,R =$ معاملات ثابتة

وندرج في الجدول رقم (١٦ أ) قيم الثوابت التي اشرنا اليها في المعادلات (59 و 60 و 61 و 62) كما تم اعتمادها لعدد من السدود •

جدول رقم (١٦) خواص المواد الديناميكية

المتغيرات الديناميكية / المادة		معاملات المرونة (E) kg/cm²				نسبة بوسون (ν)		معامل الاخماد (λ)	
		J	K	L	M	N	P	Q	R
اللب		395	1.33×10^{-4}	0.69	0.45	0.006	0.60	0.23	0.15
المرشحات		326	5.00×10^{-4}	0.550	0.45	0.006	0.60	0.30	0.15
القشرة الحجرية	المقدم	440	1.56×10^{-4}	0.5	0.49	0.01	0.55	0.23	0.15
	المؤخر				0.375	0.006			

٣٠٧ التحليل الديناميكي (نمذجة الحركة الاهتزازية)

(Dynamic Analysis - Ground Motion Modelling)

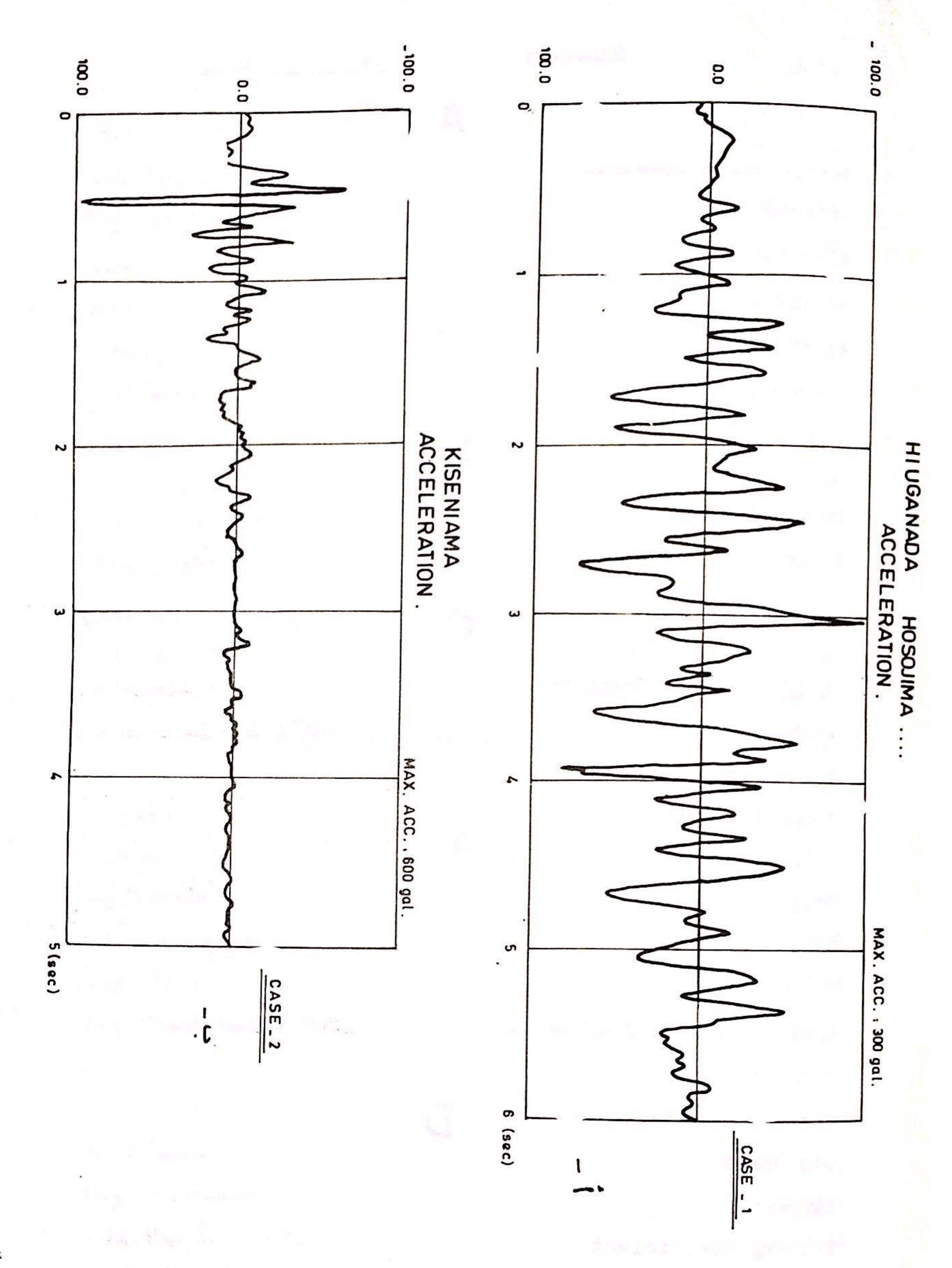
لاتختلف النمذجة هنا عن النمذجة في حالة استعمال طريقة التحليل (اللزج ـ المرن) في الاسلوب شبه الاستاتيكي • ويتم عادة اعتماد نوعين من الهزات كنموذجين لمعرفة تأثر السد بهما • الهزة الاولى ذات تعجيل أقل الا انها ذات فترة تذبذب أطول • أما الثانية فهي ذات تعجيل أكبر وفترة أقصر •

ويمكن اختيار هذه النماذج من الهزات العديدة المسجلة والمدروسة دراسة جيدة والتي سبق وان ذكرنا البعض منها • ونورد على سبيل المثال هزتين أرضية تمثلان هذين الشكلين من الهزات وقد تم استعمالهما فعلا في دراسة أحد السدود العراقية وهما هزة هوكاندا ـ هوسوجيما (1978) للحالة الاولى ، وهزة كابسينا ياما ـ سلاهي (1974) للحالة الثانية • ونورد في الجدول رقم (١٧) خواصيهما • كما يبين الشكل (٣٧أ) ، (٣٧ ب) الـ بزموغرام المسجل لكل منهما •

جدول رقم (١٧) خواص الهزات النموذجية المستخدمة في التحليل الديناميكي

اسم الهزة	مدة الهزة (sec)	فترة التكرار (sec)	التعجيل الاقصى (المركبتان الافقيتان) المركبة الثانية	المركبة الاولى	نوع الهزة
هوكاندا ، هوسوجيما	6	0.375	100 gal	300 gal	هزة كبيرة
كابسينا ياما ـ سلاهي	6	0.125	400 gal	600 gal	هزة موضعية

مما تقدم يمكننا أن نوجز بأن أسلوب التحليل الديناميكي أسلوب دقيق ويعطينا نتائج جيدة للازاحات والاجهادات المختلفة في جسم السد وهو لهذا السبب مفيد جدا عند اعداد التصاميم التفصيلية ، ولذا فيمكن اعتماد الاسلوب شبه الاستاتيكي في مرحلة التصاميم الاولية للسدود لتحديد الشكل العام للسد ومنحدراته والسداد الاضافية المطلوبة (Toe Weights) على أن تدقق كل هذه الامور في المرحلة التالية ، أي مرحلة التصاميم التفصيلية بواسطة التحليل الديناميكي •



شكل (٣٧) نماذج الهزات الارضية لتصميم السدود باسلوب التحليل الديناميكي •

Glossary — المصطلحات

A

Acceleration Spectrum	طيف التعجيل
Aftershocks	هزات ثانوية لاحقة
Alluvium	رسوبيات
Amplitude	سعة
Attenuation	توهين
Azimuth	زاوية السمت

B

Body waves	الموجات الباطنية
Boundary Curve	منحني حدودى

C

Coefficient of Truncation	معامل الشكل
Cohesion of soil	تماسك وتلاصق جزيئات التربة
Compaction	رص
Compacted Fill	دفن مرصوص
Compression	انضغاط
Compression Mode	طور الانضغاط
Crack	شق ، صدّع
Cycle	دورة
Cyclic Triaxial Loading Test	فحص التحميل الثلاثي المتكرر

D

Dam Crest	هامة السد
Damper	كابح ، خامد
Damping Coefficient	معامل الكبح أو الاخماد
Design Earthquake (DE)	الهزة التصميمية
Deterministic Procedure	الاسلوب الحتمي
Deviation	انحراف

Differential	تفاضلي
Displacement	ازاحة
Downstream Slope	المنحدر الخلفي
Drainage	صرف المياه
Dynamic Stability	الاستقرارية الديناميكية

E

Elastic	مرن
Elastic Limit	حد المرونة
Elastic Spring	نابض مرن
Elasticity	مرونة
Elastic-Plastic	مرن ــ لدن
Element	قطعة
Emergency Spillway	مسيل الطوارئ
Epicenter	بؤرة الزلزال السطحية
Erosion	تآكل
Exponential Frequency Distribution	توزيع التكرارات الأسي

F

Fault	فالق
Finite Elements	القطع المحددة
Flow Slide	انزلاق ، تدفق
Focal Distance	البعد البؤري
Focal Depth	العمق البؤري
Foreshocks	هزات ثانوية سابقة
Foothills	سفوح الجبال
Fourier Spectrum	طيف فوريير
Free Board	فضاء صافي
Frequency Distribution	توزيع التكرارات
Fundamental Mode	الطور الاساسي

G

Gal	وحدة قياس التعجيل وتساوى (١ سم / ثا٢)

H

Hydraulic Core	لب هايدروليكي
Hydraulic Fill	دفن هايدروليكي (منفذ بطريقة الجوف الهيدروليكي)

I

Independent	مستقل
Inertia	القصور الذاتي
Inertia Force	قوة القصور الذاتي
Input Data	المعلومات الداخلة
Intensity	شدة
Investigation Pit	حفرة تحريات

L

Liquefaction	تميع
Log-Normal Distribution	توزيع التكرارات اللوغاريتمي ـ الخطي

M

Magnitude	مقدار الزلزال
Maximum Annual Flood	الفيضان الاقصى السنوى
Maximum Credible Earthquake (MCE)	الهزة القصوى الممكنة
Maximum Probable Flood (PMF)	الفيضان الاقصى المحتمل
Maximization	تعظيم
Modulus of Rigidity	معامل الجسوء
Model	نموذج
Multi Degrees of Freedom	عدة درجات من الحرية

N

Natural Saddle (مرتفع من الارض الفاصل بين منخفضين متجاورين) , سرج طبيعي

Node عقدة

Normal Distribution توزيع التكرارات الخطي

O

One Dimensional Vibration الاهتزاز الاحادى الاتجاه

One Degree of Freedom درجة واحدة من الحرية

Overtopping طفح الميـــاه

P

Pseudo-Static شبه ستاتيكي

Piping تاكل بسبب الرشح

Poisson Model نموذ ج بوسون

Point Process عملية نقطيــة

Point Source مصدر نقطي

Pore Pressure الضغط المسامي

Pore Water ماء مسامي

Probability احتمـــال

Probability of Exceedence احتمـــال التجـــاوز

Probability Cumulative Distribution توزيع تكرارات الاحتمالا ت التراكمي

Probabilistic Procedure الاسلوب الاحتمالي

Primary Waves (P-Waves) الموجات الاولية

Pulsation نبض

R

Radiation اشعاع

Regional Seismicity الزلزاليـــة الاقليميـــة

Relative Density الكثافة النسبيـــة

Response تجاوب أو استجابـــــة

Response Time زمن التجاوب

Return Period	فترة التكرار
Reversal	تناوب
Rigid	جاسي

S

Saturation	تشبع
Scale	مقياس
Secondary Waves (S-Waves)	الموجات الثانوية
Seismic	زلزالي
Seismic Activity	فعالية زلزالية
Seismic Coefficient	المعامل الزلزالي
Seismic Probability Map	خريطة الاحتمالات الزلزالية
Seismic Risk	الخطورة الزلزالية
Seismic Spectrum	الطيف الزلزالي
Seismic Moment	العزم الزلزالي
Seismic Wave	الموجة الزلزالية
Seismogram	السجل الزلزالي
Seismograph	جهاز رصد وتسجيل الزلازل
Seismotectonic Regions	المناطق التكتونية الزلزالية
Self-Healing	اندمال ذاتي
Semi-log	نصف لوغاريتمي
Sensitive Clay	طين حساس
Settlement	هبوط
Shaking	ارتجاج ، اهتزاز
Shear	قص
Shear Mode	طور القص
Sinusoidal	جيبي
Slumping	ترهل
Space Series	دالة حيزية
Standard Deviation	الانحراف المعياري
Strain	اجهاد
Stress	جهد

Surface Waves	الموجات السطحية

T

Tangential Stress	جهد مماس
Tailing Dams	السدود المستعملة لاغراض التعدين أو المخلفات المعدنية المكدسة نتيجة لعمليات التعدين
Time Series	متوالية أو سلسلة زمنية
Toe Berms	السداد الاضافية مقدم ومؤخر السد

U

Undamped Frequency	التردد الحر
Uniform Grading	تدرج منتظم
Upstream Slope	المنحدر الامامي

V

Viscos Damper	خامد لزج
Visco-Elastic	لزج ـ مرن
Void Ratio	نسبة الفراغات

Y

Yield (n)	حصيلة ، انصياع
Yield (V)	ينصاع

REFERENCES CITED

المصادر المستعملة

Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of 'b' in the formula: log N = a-bM and its confidance limits, Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ., 43, 237-239.

Al-Abbasi, J.N., 1984. Extreme value statistics with application to earthquake risk estimation in Iraq, MSc Thesis Dept. of Statistics Baghdad University, Baghdad.

Al-Abbasi, J.N., and Fahmi, K.J., 1985. Estimating maximum magnitude earthquakes in Iraq using extreme value statistics. Geophy. J. R. astr. Soc. (In press).

Al-Sinawi, S. and Ghalib, H., 1975a. Historical seismicity of Iraq. Bull. Seism. Soc. Am., 65, 541-547.

Al-Sinawi, S. and Ghalib, H., 1975b. The seismicity and seismotectonics of Iraq, Bull. Coll. Science, 16, Baghdad Univ. Press, Baghdad.

Al-Sinawi, S., and Ghalib, H., 1975c. Seismic zoning of Iraq. Proc. 2nd SRF Conf. Baghdad.

Al-Sinawi, S. and Al-Moosawi, H., 1980. Seismic zoning and other seismic parameters consideration for Iraq. Proc. 7WCEE, Istanbul, 185-192.

Anonymous, 1957. Standard specifications for structures in seismic regions. Hydrotechnical Project, SN-8-1957, Moscow.

Ambraseys, N.N., 1960a. On the seismic behavior of earth dams. Proc. 2WCEE, Tokyo, 331-358.

Ambraseys, N.N., 1960b. The seismic stability of earth dams. Proc. 2WCEE, Tokyo, 1345-1364.

Ambraseys, N.N., and Sarma, S.K., 1967. The response of earth dams to strong earthquakes, Geotechnique, 181-213.

Ambraseys, N.N., 1975. Ground motions in the near field of small magnitude earthquakes. Proc. CSNI, Europe, 113-136.

Ambraseys, N.N., 1978. A reappraisal of the seismicity of the Middle East Quart. Eng. Geo., 19-32.

Chandra, U., McWhorter, J.G., and Nowroozi, A.A., 1979. Attenuation of intensities in Iran, Bull. Seism. Soc. Am., 237-250.

Clough, R.W. and Chopra, A.K., 1966. Earthquake stress analysis in earth dams. ASCE (EM2), 197-212.

Donovan, N.C., 1973. A statistical evaluation of strong motion data including the February 9, 1971 San Fernando earthquake. 5WCEE, Rome, 1252-1261.

Donovan, N.C., and Bornstein, A.E., 1978. Uncertainties in seismic risk procedures. ASCE (GT7), 869-887.

Ergin, K., 1969. Observed intensity-epicentral distance relations in earthquakes. Bull. Seis. Soc. Am., 1227-1238.

Esteva, L., and Rosenblueth, E., 1964. Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes. Bol. Soc. Mex. Ing. Sismica, 1-18.

Esteva, L., 1967. Criteria for the construction of spectra for seismic design. Third Pan American Symp. on Structures, Venezuala.

Esteva, L., 1974. Geology and predictability in the assessment of seismic risk. Proc. 2nd. Int. Conf. Assoc. Eng. Geologists, Sao Paulo, Brazil.

Fahmi, K.J., 1982. Practical considerations for the implementation and development of the Iraqi Seismological Network project, SRC/BRC Pub. SR1/82, 77 pp.

Fahmi, K.J., 1984. Preliminary estimation of earthquake risk in Iraq. 8WCEE, San Francisco, 141-148.

Gumbel, E., 1958. Statistics of Extremes, Columbia Univ. Press, Palisades N.Y.

Gutenberg, B., and Richter, C.F., 1954. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princeton Univ. Press, N.J.

Harada, , 1977. In Baba, K. (1981), "Earthquake engineering on dams". Publication of Electric Power Development Co. Ltd.

Hatanaka, M., 1952. Three dimensional consideration on the vibration of earth dams, Jour. JSCE, vol. 37, No. 10.

Housner, G.W., 1959. Behavior of structures during earthquakes. ASCE (EM4), 109-129.

Ishimoto, M., and Iida, K., 1939. Earthquake observation by microseismograph, Bull. ERI, vol. 17.

Kawakami, F., 1954. Earth Dams. (In Japanese). Publication of Kashima Construction Research Institute.

Kawasumi, H., 1943. Seismic intensity and seismic intensity scale (in Japanese), Zisin, Vol. 15.

Lomnitz, C., 1974. Global Tectonics and Earthquake Risk, Elsevier Co. Amsterdam.

Mahmood, D.S. and Al-Ridha, N., 1984. Seismic design parameters for northern Iraq applying probabilistic methods. J. Water Resources, Vol. 2, No. 3.

Marshall, P., 1970. Aspects of spectral differences between earthquakes and underground explosions. Geophys. J. R. astro. Soc., 397-416.

Matsui, , 1973. In Baba, K. (1981), "Earthquake engineering on dams. Publication of Electric Power Development Co. Ltd.

McGuire, R.K., 1974. Seismic structural response risk analysis incorporating peak response regressions on earthquake magnitude and distance MIT Rep. 74-81, Cambridge, Massachusetts.

Milne, W.A., and Davenport, A.G., 1969. Distribution of earthquake risk in Canada, Bull. Seism. Soc. Am., 729-754.

Mononobe, N., Takada. A., and Matsumura, M., 1936. Seismic stability of the earth dam. Trans. of II-ICOLD.

Okamoto, S., 1973. Introduction to Earthquake Engineering, Tokyo Univ. Press. Tokyo.

Puttonen, J., and Varpasuo, P., 1982. Seismic risk analysis for northern Iraq. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 605-614.

Sawada, , 1975. In Baba, K., (1981), "Earthquake engineering on dams. Publication of Electric Power Development Co. Ltd.

Seed, H.B. and Lee, K.L., 1966. Liquefaction of saturated sand during cyclic loading, Proc. ASCE (SM6), Vol. 92.

Seed, H.B. and Martin, G.R., 1966. Seismic coefficient in earth dam design. Proc. ASCE (SM3), Vol. 92.

Tosic, M.B., 1980. Seismic risk studies for large dam projects in northern Iraq. Proc. Conf. Inst. Civil Eng. London, 23-30.

Trifunac, M., and Brady, A.G., 1975. On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 139-162.

Utsu, T.. 1966. A statistical significance test of the difference in "b" value between two earthquake groups, J. Phys. Earth., 37-40.

MINISTRY OF IRRIGATION

JOURNAL OF WATER RESOURCES

EARTHQUAKES AND THEIR EFFECT ON EMBANKMENT DAMS



NASRAT N. ADAMO

SPECIAL PUBLICATION No.1, 1985

طبعت في المنشأة العامة للمساحة